



**Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL: Disseny d' una bateria de 96 VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

AUTORS: CODERCH VELASCO, POL

DATA DE PRESENTACIÓ: Octubre, 2019

RESUM

En aquest projecte es realitzarà el desenvolupament i disseny d'una bateria d'alta tensió per un prototip de moto elèctrica de competició, concretament per la competició universitària MotoStudent.

Així doncs es realitzarà el càlcul de l'energia necessària i temps de funcionament a partir del càlcul de cinemàtic dinàmic i d'energies del circuit de MotorLand, Aragó, on té lloc la competició.

A partir dels resultats s'han obtingut les característiques principals de la bateria, així com capacitat tensió i energia. Finalment després d'una comparativa entre diferents models i formats de cel·les s'ha trobat el model més convenient per a la nostra aplicació.

Una vegada amb el model de cel·la triat s'ha fet un estudi de les corbes de descarrega a diferents carreges, de manera que s'ha pogut trobar la més convenient en funció del nostre temps d'ús i corrent mig de descarrega, així doncs s'ha dimensionat la configuració sèrie paral·lel de la bateria i s'ha fabricat un model com a mostra. Finalment amb la configuració de la bateria ja definida s'ha buscat la solució adequada per al seu sistema de gestió, el qual està format per tots aquells elements i components que intervenen en el funcionament i control de la bateria.

Un cop tot el acumulador, bateria i sistema de gestió, ha quedat definit s'ha realitzat un esquema conceptual amb els diferents sistemes de tensió que incorpora la bateria i tots els components i elements necessaris per al seu correcte funcionament. De manera que pugui servir com a guia per a desenvolupar el seu muntatge en cas que es desitgi.

Per acabar s'ha pressupostat els costos que correspondrien al desenvolupament disseny i fabricació de la bateria, incloent-hi tot el material necessari per a la seva fabricació.

Cal tenir en compte que tot el desenvolupament i disseny s'ha fet seguint el compliment del reglament tècnic de la competició MotoStudent, igual que adaptant-se a les parts d'ús obligatori que proporciona la organització de la competició, tals com el motor elèctric i el dispositiu d'aïllament elèctric.

Paraules clau (màxim 10):

Bateria	BMS	18650	MotoStudent
Moto	Cel·les	Motor	Controlador
IMD	HV		

ABSTRACT

In this project, we will development and design a high voltage battery for a prototype electric motorcycle competition, specifically for the MotoStudent competition.

Therefore, the calculation of the necessary energy and operating time will be carried out based on the calculation of dynamic, kinematics and energies of the MotorLand circuit, Aragon, where the competition takes place.

Based on the results, the main characteristics of the battery have been obtained, as well as voltage and energy capacity. Finally, after a comparison between different models of cells and cell formats, we found the most convenient model for our application. Once with the model of cell chosen, a study of discharge capacity has been done with different charges. By this way depending of the time of use and the average discharge current, we can found the parallel and series configuration of the battery. A sample model of one module series has been manufactured.

With the configuration of the battery already defined, the right solution for the battery management system, BMS, has been looked. The BMS is formed by all those elements and components that intervene in the operation and control of the battery. Once the entire accumulator, battery and management system has been defined, a conceptual scheme has been done with the different voltage systems that the battery have, and all the components and elements necessary for its correct operation. So, it can be used as a guide to develop your assembly.

Finally, the costs that would correspond to the design and manufacture of the battery have been budgeted, including all the necessary material for its manufacture.

It should be taken into account that all the development and design has been done following the technical regulation of the MotoStudent competition, as well as adapting to the mandatory parts that the organization of the competition provides, such as the electric motor and the electrical insulation device.

Keywords (10 maximum):

Battery	BMS	18650	MotoStudent
Motorcycle	Cells	Engine	Controller
IMD	HV		

SUMARI

1. INTRODUCCIÓ	10
1.1. OBJECTIUS.....	10
2. ANTECEDENTS.....	11
2.1. ESTUDI DEL REPTÉ	11
2.1.1. FASE MS1	11
2.1.2. FASE MS2.....	12
2.1.3. ANÀLISI DEL CIRCUIT	16
2.1.4. CONCLUSIONS	18
2.2. ESTUDI DE LA COMPETENCIA.....	18
2.2.1. UMA RACING TEAM – UNIVERSITAT DE MÀLAGA	19
2.2.2. UPM MOTOSTUDENT ELECTRIC – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE MADRID 19	
2.2.3. MS UNIZAR ELECTRIC – UNIVERSITAT DE ZARAGOZA	20
2.2.4. EUPLA RACING TEAM – ESCOLA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE LA ALMUNIA.....	20
2.2.5. IMPULSE MODENA RACING – UNIVERSITAT DE MÒDENA	20
2.2.6. URVOLTAGE RACING - UNIVERSITAT RAMON VIRGILI.....	21
2.2.7. MOTOSPIRIT UPC - ESEIAAT UPC TERRASSA.....	21
2.2.8. UNIRIOJA MOTOSTUDENT – UNIVERSITAT DE LA RIOJA.....	21
2.2.9. TLMOTO – INSTITUT TÈCNIC SUPERIOR DE LISBOA.....	22
2.2.10. CONCLUSIONS	22
3. ESTAT DEL ART	23
3.1. CONCEPTES IMPORTANTS A TENIR EN COMPTE	23
3.2. EMPAQUETAT DE LES CEL·LES.....	28
3.3. CONNEXIONS ENTRE CEL·LES.....	29
3.4. SISTEMA DE GESTIÓ DE LA BATERIA (BMS)	30
3.4.1. BMS CENTRALITZAT	31
3.4.2. BMS DISTRIBUÏT	31
3.5. GESTIÓ MEDIAMBIENTAL.....	32
3.5.1. REUTILITZACIÓ.....	32
3.5.2. RECICLATGE.....	32
4. DISSENY DE LA BATERIA	34
4.1. MÒDUL DE 25 CEL·LES EN PARAL·LEL	34
4.1.1. CEL·LES.....	34
4.1.2. EMPAQUETAT DE LES CEL·LES (HOUSING)	36
4.1.3. BARRA DE CONNEXIONS (BUSBAR).....	36
4.1.4. MÒDUL DE 25 CEL·LES EN PARAL·LEL	39
4.2. SISTEMA DE GESTIÓ DE LA BATERIA, BMS.....	41
4.2.1. CONNECTOR PRINCIPAL, MAIN I/O	43

4.2.2.	CONNECTOR BALANCEIG DE CEL·LES I CONTROL, CELL TAP	43
4.2.3.	CONNECTOR SENSOR CORRENT, TERMISTORS I MESURA DE TENSIO	45
4.2.4.	ELEMENTS DE SEGURETAT DE LA BATERIA	45
4.3.	ESQUEMA ELÈCTRIC CONCEPTUAL DE LA BATERIA	46
5.	CÀLCULS JUSTIFICATIUS	48
5.1.	CÀLCUL AUTONOMIA	48
5.1.1.	ESTUDI CINEMÀTIC DEL CIRCUIT	48
5.1.2.	ESTUDI DINÀMIC DEL CIRCUIT	49
5.1.3.	ESTUDI ENERGETIC DEL CIRCUIT	50
5.1.4.	CONCLUSIONS	52
5.2.	CONFIGURACIÓ BATERIA	53
5.2.1.	TEST TEMPS DE DESCARREGA	53
5.2.2.	TEST DE CAPACITAT DE DESCARREGA A 7 AMPERS	55
5.2.3.	CONCLUSIONS	60
6.	PLEC DE CONDICIONS	61
6.1.	CONDICIONS LEGALS	61
6.1.1.	NORMATIVA MOTOSTUDENT APLICABLE A LA BATERIA	61
6.2.	CONDICIONS TÈCNIQUES	75
6.2.1.	MOTOR ELÈCTRIC	75
6.2.2.	CONTROLADOR MOTOR	77
6.2.3.	VERIFICACIONS TÈCNIQUES APLICABLES A LA BATERIA	78
7.	PRESSUPOSTOS	81
7.1.	PRESSUPOST ENGINYERIA	81
7.2.	PRESSUPOST COMPRA MATERIAL	81
7.3.	PRESSUPOST DE FABRICACIÓ	82
7.4.	RESUM DE PRESSUPOSTOS	83
8.	CONCLUSIONS	84
	AGRAÏMENTS	85
	BIBLIOGRAFIA	86
	ANNEXES	87

SUMARI DE FIGURES

FIGURA 1. GRÀFIC PERCENTATGE PUNTUACIÓ PROJECTES MS1.	11
FIGURA 2. GRÀFIC PERCENTATGE PUNTUACIÓ PROVES MS2.	12
FIGURA 3. DESCRIPCIÓ GRÀFICA DEL TEST DE FRENADA.	12
FIGURA 4. DESCRIPCIÓ GRÀFICA DE LA GIMCANA.	13
FIGURA 5. DESCRIPCIÓ GRÀFICA TEST ACCELERACIÓ.	13
FIGURA 6. CIRCUIT MOTORLAND ARAGÓ, TRAÇAT GRAND PRIX - FIM. ANNEX 2.	17
FIGURA 7. PROTOTIP UNIVERSITAT DE MÀLAGA. PRIMER PREMI DE LA CLASSIFICACIÓ GENERAL MS1 I MS2 DEL MOTOSTUDENT 17-18.	19
FIGURA 8. PROTOTIP UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE MADRID. SEGON PREMI DE LA CLASSIFICACIÓ GENERAL MS1 I MS2 DEL MOTOSTUDENT 17-18.	19
FIGURA 9. PROTOTIP UNIVERSITAT DE ZARAGOZA. PRIMER PREMI DE LA CLASSIFICACIÓ GENERAL MS1 I MS2 DEL MOTOSTUDENT 15-16.	20
FIGURA 10. PROTOTIP UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE LA ALMUNIA. DESENA POSICIÓ DE LA CLASSIFICACIÓ GENERAL MS1 I MS2 DEL MOTOSTUDENT 17-18.	20
FIGURA 11. PROTOTIP UNIVERSITAT DE MÒDENA. SEGON PREMI AL MILLOR ROCKIE TEAM DEL MS2 DEL MOTOSTUDENT 17-18.	20
FIGURA 12. PROTOTIP UNIVERSITAT RAMON VIRGILI. QUART PREMI AL MILLOR ROCKIE TEAM DEL MS2 DEL MOTOSTUDENT 17-18.	21
FIGURA 13. PROTOTIP UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE TERRASSA (ESEIAAT). PRIMER PREMI AL MS2 DEL MOTOSTUDENT 15-16.	21
FIGURA 14. PROTOTIP UNIVERSITAT DE LA RIOJA. PRIMER PREMI A LA MILLOR INNOVACIÓ TECNOLÒGICA DEL MS1 DEL MOTOSTUDENT 15-16	21
FIGURA 15. PROTOTIP INSTITUT TÈCNIC SUPERIOR DE LISBOA. VINT-I-DOSENA POSICIÓ DE LA CLASSIFICACIÓ GENERAL MS1 I MS2 DEL MOTOSTUDENT 17-18.	22
FIGURA 16. GRÀFIC DENSITAT ENERGÈTICA GRAVIMÈTRICA.	26
FIGURA 17. GRÀFIC DENSITAT ENERGÈTICA VOLUMÈTRICA.	27
FIGURA 18. GRÀFIC DENSITAT ENERGÈTICA EN FUNCIÓ DEL PREU.	27
FIGURA 19. EXEMPLE EMPAQUETAT CEL·LES TIPUS POUCH.	28
FIGURA 20. EXEMPLE EMPAQUETAT AMB CONTACTES PER A CEL·LES CILÍNDRIQUES.	29
FIGURA 21. EXEMPLE EMPAQUETAT SENSE CONTACTES PER A CEL·LES CILÍNDRIQUES.	29
FIGURA 22. EXEMPLE TIRA DE NÍQUEL I NÍQUEL BANYAT EN COURE.	29
FIGURA 23. EXEMPLE XAPA DE COURE AMB CONTACTES DE NÍQUEL.	30
FIGURA 24. EXEMPLE XAPA DE COURE AMB SOLDADURA PER PUNTS TIG.	30
FIGURA 25. EXEMPLE FUSE-WIRE.	30
FIGURA 26. CEL·LA MODEL SONY US18650VTC6.	35
FIGURA 27. CONDICIONAMENT DE LES CEL·LES .	35
FIGURA 28. HOLDERS TIPUS 2P.	36
FIGURA 29. EXEMPLE MUNTATGE HOLDERS 26P AMB BRIDES DE SUJECIO BUSBAR.	36
FIGURA 30. MODEL DE BORN BUSBAR.	36
FIGURA 31. MODEL BUSBAR.	37
FIGURA 32. MODEL BORN BUSBAR ACABAT.	37
FIGURA 33. TIPUS DE TERMINAL UTILITZAT.	37
FIGURA 34. EXEMPLE PUNT DE SOLDADURA TERMINALS AMB BUSBAR.	37
FIGURA 35. EXEMPLE POSICIONAMENT ENTRE TERMINALS I CEL·LES.	37
FIGURA 36. EXEMPLE RESULTAT FINAL SOLDADURA BUSBAR BORN NEGATIU..	38
FIGURA 37. BUSBAR BORN NEGATIU ACABAT.	38
FIGURA 38. CARRET DE FUSE-WIRE DE 32A.	38
FIGURA 39. BUSBAR BORN POSITIU.	39
FIGURA 40. EXEMPLE CONDICIONAMENT CEL·LES AMB GRASSA ANTIOXIDANT.	39
FIGURA 41. EXEMPLE RESULTAT FINAL DE SOLDADURA BUSBAR AMB FUSE-WIRE.	39
FIGURA 42. MÒDUL DE 1S25P ACABAT, SENSE AILANT.	40
FIGURA 43. MÒDUL 1S25P ACABAT AMB TERMORETRÀCTIL AÏLLANT DE 1 KV.	40
FIGURA 44. EXEMPLE PONT DE COURE RÍGID.	40
FIGURA 45. EXEMPLE CONNEXIONS ENTRE MÒDULS DE LA BATERIA.	41
FIGURA 46. BMS ORION BMS 2.	41
FIGURA 47. EXEMPLE CONNEXIONS ORION BMS 2 DE 36 CEL·LES.	42

FIGURA 48. GRUPS DE BALANCEIG CONNECTOR CELL TAP.	44
FIGURA 49. PINOUT CONNECTOR CELL TAP AMB GRUPS DE BALANCEIG PER COLORS.	44
FIGURA 50. ESQUEMA PINEJAT CONNECTOR TERMISTORS, SENSOR DE CORRENT I MESURA DE TENSIÓ.	45
FIGURA 51. SENSOR DE CORRENT EFECTE HALL.	45
FIGURA 52. DISPOSITIU D'AÏLLAMENT ELECTRÒNIC IMD.	46
FIGURA 53. DETALL DEL ESQUEMA CONCEPTUAL DE LA BATERIA.	47
FIGURA 54. GRÀFIC D' ENERGIA TRAM A TRAM DEL CIRCUIT DE MOTORLAND ARAGÓ.	52
FIGURA 55. GRÀFIC TEST TEMPS DESCARREGA.	54
FIGURA 56. DETALL GRÀFIC TEST TEMPS DESCARREGA.	54
FIGURA 57. GRÀFIC CORBA CAPACITAT DE DESCARREGA A 7A, SONY VTC6.	55
FIGURA 58. GRÀFIC CORBA CAPACITAT DE DESCARREGA AMB LÍMITS.	57
FIGURA 59. ETIQUETA AVIS ALTA TENSIÓ.	62
FIGURA 60. EXEMPLE CONNEXIÓ ENTRE CEL·LES.	64
FIGURA 61. CONTACTOR CONTROLAT DIRECTAMENT PEL CIRCUIT DE DESCONNEXIÓ.	68
FIGURA 62. CONTACTOR CONTROLAT DIRECTAMENT PEL CONTROLADOR.	68
FIGURA 63. EXEMPLE ORIENTATIU D'ADHESIU DE VERIFICACIÓ.	79

SUMARI DE TAULES

TAULA 1. COTES I DISTANCIES DEL CIRCUIT MOTORLAND ARAGÓ, TRAÇAT GRAND PRIX - FIM. ANNEX 3.	18
TAULA 2. CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES CEL·LA, SONY US18650VTC6.	35
TAULA 3. PINOUT DEL CONNECTOR PRINCIPAL, MAIN I/O, UTILITZAT DEL BMS.	43
TAULA 4. RESUM CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DE LA CEL·LA.	53
TAULA 5. COMPARATIVA OPCIONS DE CONFIGURACIÓ DE LA BATERIA.	60
TAULA 6. CARACTERÍSTIQUES REALS DE LA BATERIA.	60
TAULA 7. CARACTERÍSTIQUES NOMINALS DE LA BATERIA.	60
TAULA 8. SEPARACIÓ MÍNIMA EN FUNCIO DE LA TENSIÓ.	66
TAULA 9. CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES DEL MOTOR.	76
TAULA 10. CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES PRINCIPALS DEL CONTROLADOR.	77
TAULA 11. RESUM PRESSUPOST ENGINYERIA.	81
TAULA 12. RESUM PRESSUPOST MÒDUL SÈRIE FABRICAT.	81
TAULA 13. RESUM PRESSUPOST BMS.	82
TAULA 14. RESUM PRESSUPOST FABRICACIÓ.	82
TAULA 15. RESUM DE PRESSUPOSTOS AMB COMPENSACIÓ EN EL PREU.	83
TAULA 16. TAULA DE CONCLUSIONS.	84

1. INTRODUCCIÓ

En aquest projecte es realitzarà el desenvolupament del disseny i fabricació d'una bateria d'alta tensió i alta capacitat de descarrega seguint un reglament tècnic, el cos del projecte es dividirà en 7 capítols:

- **Antecedents:** En aquest capítol s'estudiarà la competició MotoStudent i els reptes a vèncer, igual que les característiques de les bateries dels principals competidors.
- **Estat del art:** En aquest capítol es realitzarà una recerca i anàlisi dels diferents sistemes i solucions existents per a la fabricació de bateries d'alta tensió.
- **Disseny de la bateria:** En aquest capítol s'explicarà el procediment seguit i les solucions adoptades per al disseny i posterior fabricació de la bateria.
- **Càlculs justificatius:** En aquest capítol es desenvoluparan els càlculs justificatius sobre els que es fonamenta el disseny de la bateria.
- **Plec de condicions:** En aquest capítol es farà un recull de tots els articles del reglament i limitacions constructives que influeixen en el disseny de la bateria, i que per tant s'han de tenir en consideració durant el projecte.
- **Pressupostos:** En aquest capítol es pressupostarà el cost de desenvolupar el disseny i fabricació de la bateria, igual que la compra del material necessari per a la seva fabricació.
- **Conclusions:** En aquest capítol final es conclourà amb els objectius del projecte, determinant així si s'han complert en base als plantejaments inicials.

El projecte també es acompanyat de dos capítols addicionals al cos del projecte, un capítol bibliogràfic de les fonts que han sigut consultades i esmentades durant el projecte, i un capítol de annexes que han sigut consultats i elaborats personalment per al correcte desenvolupament del projecte.

1.1. OBJECTIUS

El principal objectiu del projecte es desenvolupar una bateria d'altres prestacions a un preu accessible, per tal de documentar el seu disseny i fabricació. Contribuint així amb l'equip E3 Team de la UPC de Vilanova i la Geltrú, EPSEVG, el qual esta desenvolupant un prototip de moto elèctrica de competició per participar al campionat universitari internacional MotoStudent.

2. ANTECEDENTS

La competició MotoStudent es un repte universitari a nivell internacional on participen estudiants de diferents disciplines d'enginyeria, es una competició organitzada per Moto Engineering Foundation (MEF) i TechnoPark MotorLand. El principal objectiu de la competició es posar en practica els coneixements i habilitats adquirides durant els estudis, duent a terme un projecte industrial com es el de dissenyar i fabricar un prototip de moto de carreres.

El prototip ha de complir amb el reglament tècnic establert per la organització MotoStudent, per tal de garantir equitat entre els equips en quant a prestacions i uns mínims de seguretat. Es per això que també proporciona a cada equip un kit de material d' us obligatori que inclou parts com el motor, frens, llantes i pneumàtics. El prototip fabricat per cada equip també ha d' anar acompanyat per una sèrie de projectes establerts per la organització.

2.1. ESTUDI DEL REPTE

La competició MotoStudent es divideix en dos blocs principals, la fase MS1 on un jurat qualificat avalua els projectes presentats per cada equip, y la fase MS2 que es la part de la competició on es posa a prova el prototip i les habilitats de coordinació dels equips.

2.1.1. FASE MS1

La fase MS1 és una fase demostrativa en la qual cada equip ha de presentar el projecte de disseny del prototip i el projecte d'innovació tecnològica del prototip. Aquests projectes seran avaluats per un jurat qualificat, igual que les presentacions dels mateixos. Aquesta fase pretén ser una oportunitat perquè puguem aplicar els coneixements adquirits durant la nostra formació en un projecte real, demostrant els aspectes i dificultats que pot comportar un procés de fabricació industrial i el llançament d'un producte al mercat. El projecte es basa en el disseny, desenvolupament i procés de fabricació d'una moto de competició per a circuit de velocitat, amb una previsió de producció en sèrie anual de 600 unitats. La Fase MS1 es divideix en dos projectes, dels quals s'avaluen cinc aspectes diferents que seran qualificats pels jutges.

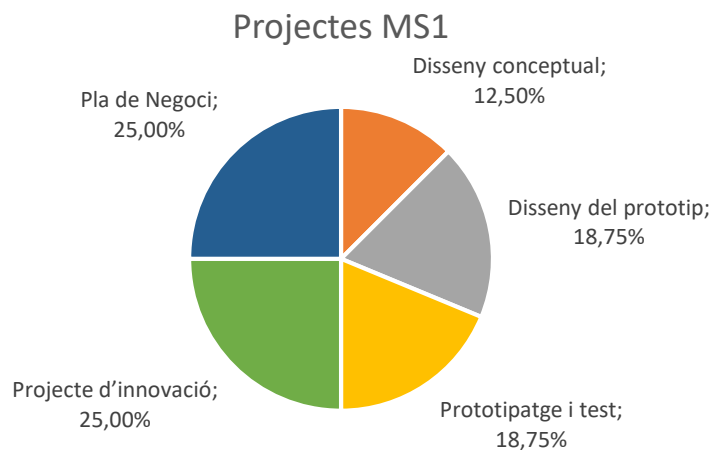


Figura 1. Gràfic percentatge puntuació projectes MS1.

2.1.2. FASE MS2

La fase MS2 es una fase totalment empírica, consisteix en una sèrie de proves plantejades per avaluar el comportament dinàmic i les prestacions del prototip, així com les habilitats organitzatives del equip.

Per a poder puntuar en la Fase MS2, s'ha d'haver superat un mínim del 40% de la puntuació de la Fase MS1, i es divideix en les següents proves:

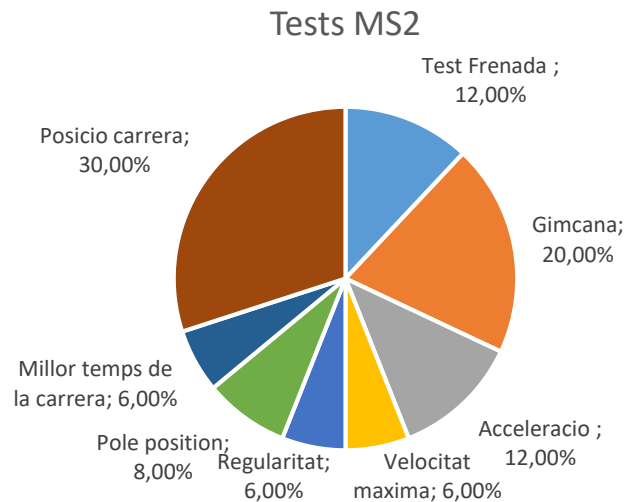


Figura 2. Gràfic percentatge puntuació proves MS2.

2.1.2.1. PROVES DINÀMIQUES

2.1.2.1.1. MS2 TEST 1: BRAKE TEST

La primera prova dinàmica consisteix en un test de frenada, on la pilot ha d' assolir una velocitat mínima de 80 km/h i al arribar a un punt concret començar a frenar fins aturar-se en la menor distancia possible.

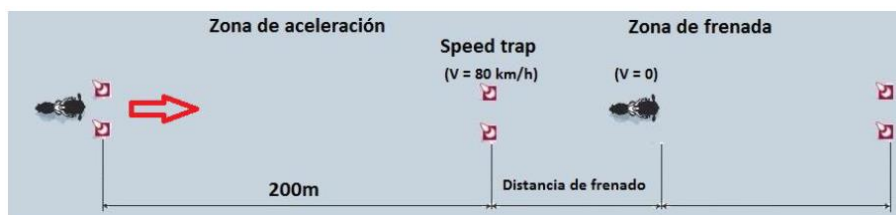


Figura 3. Descripció gràfica del test de frenada.

- La millor marca de la categoria Electric va ser de 28'8 metres.
- La millor marca de la categoria Petrol va ser de 29.1 metres.

Aquesta prova no presenta cap complicació per la bateria ja que s'avalua la capacitat de frenar del prototip i no l' acceleració.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

2.1.2.1.2. MS2 TEST 2: GYMKHANA

La segona prova consisteix en un circuit d' agilitat cronometrat, el qual la pilot ha de fer amb el menor temps possible.

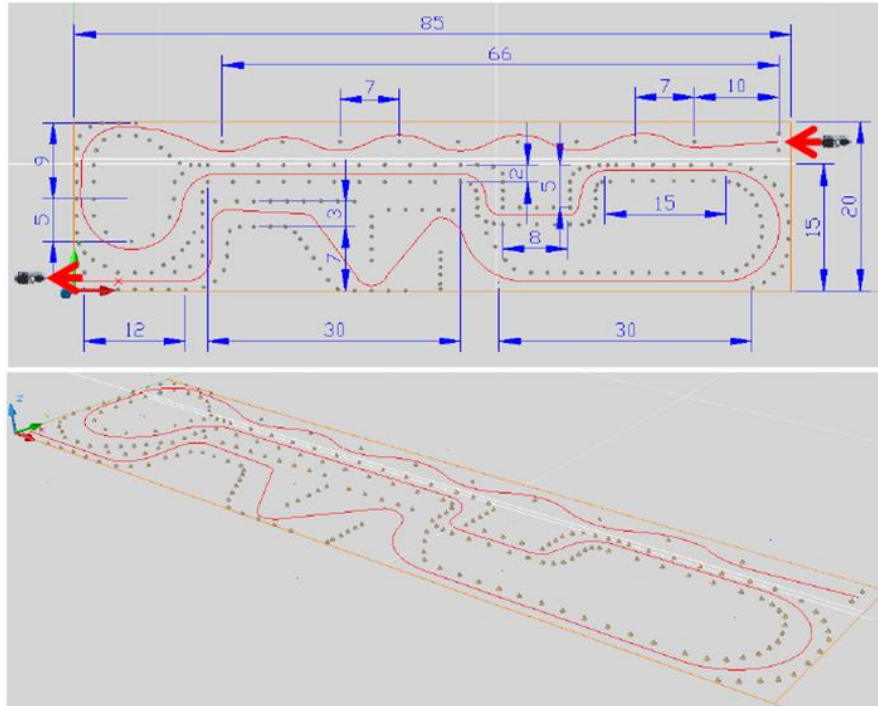


Figura 4. Descripció gràfica de la gimcana.

- La millor marca de la categoria Electric va ser de 30'056 segons.
- La millor marca de la categoria Petrol va ser de 29'276 segons.

En aquesta prova el prototip ha de fer fortes accelerades i frenades, això suposa que la bateria ha de proporcionar alts pics de descàrrega d' intensitat per afrontar les demandes de parell del motor al accelerar. Es per això que aquesta es una de les proves a tenir en compte de cara al disseny de la bateria del prototip.

2.1.2.1.3. MS2 TEST 3: BEST ACCELERATION

La tercera prova consisteix en una prova d' acceleració, on la pilot te 150 metres per assolir la màxima velocitat possible.



Figura 5. Descripció gràfica test acceleració.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

- La millor marca de la categoria Electric va ser de 6'280 segons en recorre 150 metres.
- La millor marca de la categoria Petrol va ser de 6'966 segons en recorre 150 metres.

Aquesta es una de les proves a tenir en compte, ja que s'avalua la capacitat d'accelerar del prototip, i per tant la capacitat de descarrega de la bateria per proporcionar el parell motor requerit. Al moment d'accelerar es quan el motor elèctric ofereix mes parell, i per tant mes demanda d'intensitat de corrent per tal d'oferir el parell motor desitjat.

2.1.2.2. ENTRENAMENTS

Cada equip disposa de 2 tandes de 20 minuts cada una. Durant la primera tanda s'avalua el test 4 "maximum speed at speed trap", i durant la segona tanda s'avalua el test 5 "regularity".

2.1.2.2.1. MS2 TEST 4: MAXIMUM SPEED AT SPEED TRAP

Aquesta prova es com un entrenament de cara a la carrera, ja que es disposa de 20 minuts per córrer en pista i es el que dura la carrera aproximadament.

En aquesta prova es registra la velocitat màxima en pista durant els entrenaments en circuit.

- La millor marca de la categoria Electric va ser de 190.1 km/h.
- La millor marca de la categoria Petrol va ser de 197.1 km/h.

Aquesta es una prova important a tenir en compte ja que s'avalua la capacitat del prototip en assolir la seva velocitat punta, per tant la bateria no pot descarregar-se tant com per no poder satisfer les necessitats del motor durant tots els trams del circuit, a demes es posa a prova la autonomia de la bateria si s'esta els 20 minuts en pista.

2.1.2.2.2. MS2 TEST 5: REGULARITY

De la mateixa manera que el test 4, aquesta prova es un entrenament de cara a la carrera, ja que es disposa de 20 minuts per córrer en pista i es el que dura la carrera aproximadament. En aquesta prova s'avalua la regularitat en un tram concret del circuit, del qual s'obtindrà els tres millors temps de diferents voltes de la sessió d'entrenaments. Com aquesta prova es nova per aquesta pròxima edició 2019/2020, no tenim cap registre de resultats com a referencia.

Aquesta es una prova important pel fet que es posa a prova la regularitat en un tram del circuit, per tant la bateria no pot descarregar-se tant com per no poder satisfer les necessitats del motor durant els 20 minuts que dura la prova.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

2.1.2.3. SESSIÓ “WARM UP”

Cada equip disposa de una tanda de 10 minuts d' entrenament al circuit. No s' avalua cap prova puntuable de la fase MS2.

2.1.2.4. SESSIÓ QUALIFICACIONS

Durant la sessió de qualificacions cada equip disposa de una tanda de 20 minuts per obtenir el millor temps per volta possible, durant aquesta sessió s' avalua el test 6 “pole position”.

2.1.2.4.1. MS2 TEST 6: POLE POSITION

La sisena prova consisteix en fer el millor temps possible en fer una volta al circuit, tot i que no cal estar els 20 minuts en pista, perquè tan sols es te en conte el temps de la millor volta de la sessió de qualificacions. Evidentment com mes voltes al circuit es facin mes opcions es te de fer la “pole position” però també es necessitarà mes temps per carregar la bateria abans de la carrera, per tant acabarà sent una decisió estratègica del equip en funció del temps de carrega de la bateria i el temps que es disposi per carregar-la abans de la carrera.

- La millor marca de la categoria Electric va ser d' un temps per volta de 2'23"599.
- La millor marca de la categoria Petrol va ser d' un temps per volta de 2'23"249

Aquest es una prova molt important ja que un bon resultat en aquesta permet sortir en millor posició de la graella de sortida, i per tant tenir mes opcions de guanyar la carrera.

2.1.2.5. CARRERA

La carrera consta de diferents etapes:

- 1) Accés directe des de Pit Lane a graella de sortida, empenyent el prototip (sense volta de formació).
- 2) Compte enrere a la graella d'inici.
- 3) Volta escalfament per tornar a parar a la graella. El temps màxim establert per normativa es de 4 minuts 30 segons, per tant considerarem un temps màxim de 4 minuts per fer la volta d' escalfament (1 volta de 5.077'59 metres). Aquesta volta es recomanable fer-la a la menor velocitat possible, ja que això suposa un menor consum d' intensitat de corrent, per això s' estableix un temps màxim per normativa.
- 4) Carrera de 6 voltes de 5.077'59 metres cada una amb sortida de parada per semàfor. Com s'ha vist a la “pole position” la volta mes rapida de la edició anterior va ser de 2 minuts 24 segons, per tant es considera un temps màxim per volta de 2 minuts 30 segons, ja que es el ritme de carrera pel que el prototip te un major consum de corrent.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

- 5) Volta d'honor i tornada al Parc Fermé (parc tancat) per la ruta "Nacional" que es de 2.379,12 metres. Es considera un temps màxim per volta de 2 minuts, la meitat que la volta de escalfament per tenir gairebé la meitat de distància a recórrer. El reglament no especifica cap temps màxim ni que s' hagi de completar la volta d' honor, per tant aquesta volta dona un petit marge de error a favor de la bateria.

$$Temps_{total\ carrera} = Temps_{volta\ calentament} + Temps_{volta\ carrera} \cdot n^{\circ} de voltes$$

$$Temps_{total\ carrera} = 4' + 2'30'' \cdot 6 + 2' = 21\ minuts$$

$$Distancia_{total\ carrera} = Distancia_{volta\ circuit} \cdot n^{\circ} de voltes + Distancia_{volta\ honor}$$

$$Distancia_{total\ carrera} = 5.077'59 \cdot (1 + 6) + 2.379'12 = 37.922'25\ m = 37'92\ km$$

Per tant, es tindrà en conte un temps de carrera de 21 minuts i una distància de 38 km.

Durant la carrera s' avaluaran les proves "fastest lap during race" i "race position".

2.1.2.5.1. MS2 TEST 7: FASTEST LAP DURING RACE

En aquesta prova es puntua el millor temps de cada equip durant la carrera. Es una prova molt important i si a demés es manté un ritme de carrera alt i constant, ajudarà a que l' equip acabi en les primeres posicions de la carrera.

- La millor marca de la categoria Electric va ser d' un temps per volta de 2'27"922.
- La millor marca de la categoria Petrol va ser d' un temps per volta de 2'22"716.

2.1.2.5.2. MS2 TEST 8: RACE POSITION

Aquesta prova ve a ser la classificació de la carrera. Per treure bon resultat en aquesta prova es important que la bateria pugui proporcionar la energia necessària durant tota la carrera, es a dir, que durant tota la carrera el motor rebi la potencia sol·licitada en cada moment. Aquesta prova es de les més importants per la bateria pel fet que es posa a prova la seva capacitat i autonomia.

2.1.3. ANÀLISI DEL CIRCUIT

En aquest subapartat s' analitzarà tram a tram el circuit de MotorLand Aragó del traçat Grand Prix – FIM, amb l' objectiu de conèixer la velocitat amb la que el prototip circularà durant la carrera per cadascun dels trams, a partir d'aquestes velocitats es podrà obtenir les forces resistents i la energia necessària que requerirà la bateria. Per desenvolupar aquest apartat s'ha servit del Annex 2 adjunt, el qual va ser facilitat per la organització MotoStudent.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol



Figura 6. Circuit MotorLand Aragó, traçat Grand Prix - FIM. Annex 2.

A la taula següent es pot veure els trams del circuit amb les seves cotes corresponents:

Tram	Distancia inicial [m]	Distancia final [m]	Distancia tram [m]	Cota inicial [m]	Cota final [m]	Desnivell [m]	Desnivell [%]	Radi de gir [m]
Tram 0-1	0,000	292,347	292,347	372,000	372,000	0,000	0,000	0,000
Tram 0-1	292,347	393,280	100,933	372,000	372,000	0,000	0,005	0,000
Tram 1	393,280	426,730	33,450	372,000	372,000	0,000	0,005	21,500
Tram 1-2	426,730	435,659	8,929	372,000	372,716	0,716	0,005	0,000
Tram 1-2	435,659	532,650	96,991	372,716	372,716	0,000	0,015	0,000
Tram 2	532,650	653,542	120,892	372,716	375,985	3,269	0,015	111,000
Tram 2	653,542	666,570	13,028	375,985	375,985	0,000	0,053	111,000
Tram 2-3	666,570	811,450	144,880	375,985	375,985	0,000	0,053	0,000
Tram 3	811,450	900,740	89,290	375,985	375,985	0,000	0,053	83,000
Tram 3-4	900,740	1070,782	170,042	375,985	397,891	21,906	0,053	0,000
Tram 3-4	1070,782	1112,370	41,588	397,891	397,891	0,000	0,015	0,000
Tram 4	1112,370	1181,870	69,500	397,891	397,891	0,000	0,015	88,000
Tram 4-5	1181,870	1262,760	80,890	397,891	397,891	0,000	0,015	0,000
Tram 5	1262,760	1333,550	70,790	397,891	397,891	0,000	0,015	36,000
Tram 5-6	1333,550	1447,530	113,980	397,891	397,891	0,000	0,015	0,000
Tram 6	1447,530	1472,460	24,930	397,891	397,891	0,000	0,015	66,000
Tram 6-7	1472,460	1678,760	206,300	397,891	397,891	0,000	0,015	320,210
Tram 7	1678,760	1735,910	57,150	397,891	397,891	0,000	0,015	33,000
Tram 7-8	1735,910	1747,681	11,771	397,891	407,773	9,882	0,015	0,000
Tram 7-8	1747,681	1972,149	224,468	407,773	405,753	-2,020	-0,009	0,000
Tram 7-8	1972,149	2035,150	63,001	405,753	405,753	0,000	-0,072	0,000
Tram 8	2035,150	2092,910	57,760	405,753	405,753	0,000	-0,072	41,000
Tram 8-9	2092,910	2124,360	31,450	405,753	405,753	0,000	-0,072	0,000

Tram 9	2124,360	2175,500	51,140	405,753	405,753	0,000	-0,072	25,000
Tram 9-10	2175,500	2316,561	141,061	405,753	380,785	-24,968	-0,072	187,660
Tram 9-10	2316,561	2339,080	22,519	380,785	380,785	0,000	0,028	187,660
Tram 10	2339,080	2514,410	175,330	380,785	380,785	0,000	0,028	111,000
Tram 10-11	2514,410	2632,640	118,230	380,785	380,785	0,000	0,028	0,000
Tram 11	2632,640	2880,383	247,743	380,785	396,572	15,787	0,028	600,000
Tram 11	2880,383	3029,650	149,267	396,572	396,572	0,000	-0,029	600,000
Tram 12	3029,650	3052,290	22,640	396,572	396,572	0,000	-0,029	18,000
Tram 12-13	3052,290	3093,948	41,658	396,572	392,256	-4,316	-0,029	0,000
Tram 12-13	3093,948	3165,470	71,522	392,256	392,256	0,000	0,028	0,000
Tram 13	3165,470	3265,520	100,050	392,256	392,256	0,000	0,028	88,000
Tram 13-14	3265,520	3324,060	58,540	392,256	396,706	4,450	0,028	0,000
Tram 13-14	3324,060	3429,852	105,792	396,706	396,706	0,000	-0,073	0,000
Tram 14	3429,852	3462,060	32,208	396,706	396,706	0,000	-0,073	25,000
Tram 14-15	3462,060	3526,653	64,593	396,706	381,906	-14,800	-0,073	0,000
Tram 14-15	3526,653	3532,270	5,617	381,906	381,906	0,000	-0,029	0,000
Tram 15	3532,270	3561,370	29,100	381,906	381,906	0,000	-0,029	18,000
Tram 15-16	3561,370	3882,260	320,890	381,906	373,261	-8,645	-0,029	0,000
Tram 15-16	3882,260	4342,000	459,740	373,261	357,319	-15,942	-0,031	0,000
Tram 15-16	4342,000	4529,220	187,220	357,319	357,319	0,000	0,000	0,000
Tram 16	4529,220	4598,400	69,180	357,319	357,960	0,641	0,000	115,000
Tram 16	4598,400	4765,020	166,620	357,960	357,960	0,000	0,045	115,000
Tram 16-17	4765,020	4799,760	34,740	357,960	357,960	0,000	0,045	0,000
Tram 17	4799,760	4840,930	41,170	357,960	357,960	0,000	0,045	55,010
Tram 17-0	4840,930	4924,200	83,270	357,960	371,160	13,200	0,045	0,000
Tram 17-0	4924,200	5077,590	153,390	371,160	372,000	0,840	0,000	0,000

Taula 1. Cotes i distàncies del circuit MotorLand Aragó, traçat Grand Prix - FIM. Annex 3.

2.1.4. CONCLUSIONS

Com s'ha vist a les diferents proves de la competició la bateria la bateria es posarà a prova amb accelerades que es tradueixen en pics de descarrega de corrent, i amb autonomia que es necessària per no perdre ritme durant la carrera i per suposat poder acabar-la. Sens dubte la prova més exigent per la bateria serà la carrera, per la seva durada i alta exigència, per tant es consideren els 21 minuts de temps d' us i 38 km de distància ha recórrer.

2.2. ESTUDI DE LA COMPETENCIA

Actualment ha tingut lloc dos edicions del MotoStudent amb categoria Electric, pel que ja es pot trobar bastanta informació sobre la bateria dels principals prototips de la competició. Es una recerca complexa ja que no s'acostuma a publicar aquesta informació, però a traves de conèixer els seus patrocinadors, imatges publicades a les xarxes socials, entrevistes, articles o inclús algun TFG; s' ha pogut treure bastanta informació.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

2.2.1. UMA RACING TEAM – UNIVERSITAT DE MÀLAGA

- Model: Melasta
- Química: Liti polímer
- Format: Pouch
- Un cel·la = 3.7 VDC
- Capacitat cel·la = 12.5 Ah
- C-continu = 15C
- C-Pic = 20C
- Configuració: 28s5p
- Capacitat bateria = 62.5 Ah
- Un bateria = 103.6 VDC
- Energia bateria = 6.48 kWh



Figura 7. Prototip Universitat de Màlaga. Primer premi de la classificació general MS1 i MS2 del MotoStudent 17-18.

2.2.2. UPM MOTOSTUDENT ELECTRIC – UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE MADRID

- Model: Samsung INR18650-30Q
- Química: Ions de liti
- Format: Cilíndric
- Un cel·la = 3.6 VDC
- Capacitat cel·la = 2.95 Ah
- C-continu = 5C
- C-Pic = 7C
- Configuració: 26s25p
- Capacitat bateria = 73.75 Ah
- Un bateria = 93.6 VDC
- Energia bateria = 6.9 kWh



Figura 8. Prototip Universitat politècnica de Madrid. Segon premi de la classificació general MS1 i MS2 del MotoStudent 17-18.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

2.2.3. MS UNIZAR ELECTRIC – UNIVERSITAT DE ZARAGOZA

- Model: Sony US18650VTC5
- Química: ions de liti
- Format: Cilíndric
- Un cel·la = 3.6 VDC
- Capacitat cel·la = 3.12 Ah
- C-continu = 5C
- C-Pic = 10C



Figura 9. Prototip Universitat de Zaragoza. Primer premi de la classificació general MS1 i MS2 del MotoStudent 15-16.

2.2.4. EUPLA RACING TEAM – ESCOLA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE LA ALMUNIA

- Química: ions de liti
- Format: Pouch
- Un cel·la = 3.6 VDC
- Capacitat cel·la = 23 Ah
- C-continu = 15C
- C-Pic = 20C
- Configuració: 28s3p
- Capacitat bateria = 69 Ah
- Un bateria = 100.8 VDC
- Energia bateria = 6.96 kWh



Figura 10. Prototip Universitat politècnica de la Almunia. Desena posició de la classificació general MS1 i MS2 del MotoStudent 17-18.

2.2.5. IMPULSE MODENA RACING – UNIVERSITAT DE MÒDENA

- Model: Panasonic ncr18650
- Química: ions de liti
- Format: Cilíndric
- Un cel·la = 3.6 VDC
- Capacitat cel·la = 2.9 Ah
- C-continu = 5C
- C-Pic = 7C



Figura 11. Prototip Universitat de Mòdena. Segon premi al millor Rockie Team del MS2 del MotoStudent 17-18.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

2.2.6. URVOLTAGE RACING - UNIVERSITAT RAMON VIRGILI

- Model: Melasta
- Química: Liti polímer
- Format: Pouch
- $U_n = 3.7$ VDC
- Capacitat cel·la = 12.5 Ah
- C-continu = 15C
- C-Pic = 20C
- Configuració: 28s4p
- Capacitat bateria = 50 Ah
- U_n bateria = 103.6 VDC
- Energia bateria = 5.18 kWh



Figura 12. Prototip Universitat Ramon Virgili. Quart premi al millor Rockie Team del MS2 del MotoStudent 17-18.

2.2.7. MOTOSPIRIT UPC - ESEIAAT UPC TERRASSA

- Model: Melasta
- Química: Liti polímer
- Format: Pouch
- $U_n = 3.7$ VDC
- Capacitat cel·la = 12.5 Ah
- C-continu = 15C
- C-Pic = 20C
- Configuració: 28s4p
- Capacitat bateria = 50 Ah
- U_n bateria = 103.6 VDC
- Energia bateria = 5.18 kWh



Figura 13. Prototip Universitat politècnica de terrassa (ESEIAAT). Primer premi al MS2 del MotoStudent 15-16.

2.2.8. UNIRIOJA MOTOSTUDENT – UNIVERSITAT DE LA RIOJA

- Química: Liti polímer
- Format: Pouch
- U_n cel·la = 3.7 VDC
- Capacitat cel·la = 22 Ah
- Configuració: 25s3p
- Capacitat bateria = 66 Ah
- U_n bateria = 92.5 VDC
- Energia bateria = 6.1 kWh



Figura 14. Prototip Universitat de la Rioja. Primer premi a la millor innovació tecnològica del MS1 del MotoStudent 15-16

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

2.2.9. TLMOTO – INSTITUT TÈCNIC SUPERIOR DE LISBOA

- Química: Liti polímer
- Format: Pouch
- Un cel·la = 3.7 VDC
- Capacitat cel·la = 16 Ah
- C-continu = 3C
- C-Pic = 10C
- Configuració: 27s4p
- Capacitat bateria = 64 Ah
- Un bateria = 99.9 VDC
- Energia bateria = 6.39 kWh



Figura 15. Prototip Institut tècnic superior de Lisboa. Vint-i-dosena posició de la classificació general MS1 i MS2 del MotoStudent 17-18.

2.2.10. CONCLUSIONS

D' aquest apartat es important destacar certs valors de les bateries dels prototips analitzats. Conèixer el que fa la competència sempre es important per saber amb el nivell de prestacions que competeixes, a demes serveix com a referencia per si es va ben encaminat o no. A continuació, el valor mig de les característics mes importants de les bateries dels competidors analitzats:

- Química bateria: liti polímer i liti ió
- Capacitat bateria = 62,18 Ah
- Un bateria = 99.66 VDC
- Energia bateria = 6.17 kWh

3. ESTAT DEL ART

El principi de funcionament d' una bateria elèctrica consisteix en una reacció química entre dos elements. Un que pot cedir electrons i un altre que els rep, el quals venen a ser el reductor i el oxidant respectivament, aquest procés se' anomena REDOX, reducció oxidació. L'element reductor es el connectat al born positiu, o càtode, de la bateria i es l' element que rep els electrons cedits. L' element oxidant es el connectat el born negatiu, o ànode, de la bateria i es l' element oxidant el qual cedeix electrons.

3.1. CONCEPTES IMPORTANTS A TENIR EN COMPTE

Un cop descrit el principi de funcionament de la bateria, és més fàcil comprendre la definició i influència dels diferents paràmetres que caracteritzen una bateria i que son els que determinen el seu comportament. Per saber quin tipus de bateria és l'adequada per a una aplicació concreta, cal valorar certs paràmetres que ajuden a definir quin tipus de bateria es mes convenient, a continuació es pot veure els mes importants:

- **Cel·les, mòduls i paquets**

Els vehicles elèctrics i híbrids disposen d'una bateria d'alta tensió, paquets de bateria, que consta de mòduls i cel·les connectats en sèrie i paral·lel. Una cel·la és la forma més petita, empaquetada que pot adoptar una bateria, i és generalment de l'ordre de 1 a 6 volts. Un mòdul consta de diverses cel·les generalment connectades en sèries o paral·leles. Aleshores, el conjunt de bateries es munta connectant mòduls junts, de nou en sèrie o bé paral·lel.

- **Autonomia**

L'autonomia de la bateria d' una motocicleta elèctrica va en funció de molts paràmetres, com el tipus de terreny i desnivell, el tipus de conducció, tipus de motor i configuració del mapa motor de bat-velocitat. Aquesta dada és important a fets comparatius entre models de motocicletes elèctriques, comparant el pes de la motocicleta, la potència del motor i l'energia de les bateries.

- **Capacitat**

Es pot dir que les bateries contenen una quantitat de carrega elèctrica concreta, la qual depèn de la quantitat de reactius que contingui la bateria, i anirà en funció de la potència del motor que disposem i la energia que necessitem per recórrer un tram definit.

- Capacitat de càrrega: és la capacitat que és capaç d'emmagatzemar la bateria. Depèn de la quantitat de material reactiu que contingui la cel·la. Es mesura amb el corrent que pot subministrar la bateria en una hora durant el procés de descàrrega, expressat mitjançant ampere-hora (Ah).
- Capacitat elèctrica: és la capacitat que es mesura en referència al temps de càrrega i de descàrrega.

- **C-rate**

Es el gradient de corrent que es pot aplicar a la capacitat nominal, es a dir, es el rati de càrrega o descarrega al que es pot fer treballar una bateria sense sobrepassar els seus

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

límits de treball. El qual es mesura en C, un rati de descarrega de 2C vindria a donar un corrent de descarrega de 2 vegades la seva capacitat nominal.

- **Corrent nominal**

Es defineix com la quantitat de flux de càrregues per unitat de temps en amperes (A). Tot i que moltes vegades es troba expressat en funció de la capacitat de càrrega, de manera que si una bateria té una capacitat de càrrega i una intensitat de corrent concreta expressada en C, indicarà el nivell de corrent que aconseguirà carregar la bateria en una hora.

$$I_n = \text{Capacitat} \cdot C_{rate}$$

- **Corrent màxim**

Es el valor de corrent pel qual la cel·la es capaç de permetre que circuli per ella un corrent de magnitud menor o igual, aquest valor ve definit pel fabricant. En cas que el corrent que circuli per la cel·la sobrepassi el seu valor màxim, els danys que patirà la cel·la seran irreversibles, arribant inclús fins al punt de possibilitat d'explosió. Per aquest motiu el circuit de control de la cel·la ha de ser capaç de limitar la tensió màxima de carrega i monitoritzar el corrent que circula per ella en cada instant. En cas d'arribar a la magnitud màxima, el circuit de control ha de poder aïllar aquesta cel·la de la resta de la bateria o la bateria sencera.

- **Corrent o índex d'auto-descàrrega**

Es la part de corrent efectiva que es perd encara que la bateria estigui en repòs o circuit obert (OCV). El fenomen de la auto-descàrrega, és molt lleu en les bateries de ions de liti. Aquest fenomen consisteix en una petita descàrrega de la bateria quan aquesta no està en funcionament, només a causa del pas del temps.

- **Tensió nominal**

Un dels paràmetres que més caracteritza el comportament i qualitat d'una bateria és la tensió que posseeixi. La tensió d'una bateria ve donada pel material del què estan fabricats els elèctrodes. És molt important controlar la tensió que pateix cada cel·la, no superant mai els límits VMAX i VMIN ja que en tal cas la bateria pot fer-se malbé físicament o quedar inservible.

Per solucionar això, totes les cel·les de ions de liti han de incloure un circuit especial de control, el qual mesura en cada moment la tensió i la limita de manera que no sobrepassi ni VMAX ni VMIN, d' aquesta funció s'encarrega BMS (Battery Management System).

Des del punt de vista químic la tensió depèn de les substàncies reactives que es troben a l'interior de la bateria, el voltatge serà menys com menys siguin els reactius, aquesta relació ve donada per l'equació de Nernst, mostrada a continuació:

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \cdot \ln \left(\frac{C^c \cdot D^d}{A^a \cdot B^b} \right)$$

De la qual es dedueix que la tensió disminueix de forma brusca inicialment i després disminueix més lentament. A més, en el que correspon a la temperatura, com més alta sigui la temperatura a la qual es troba la cel·la, menor serà la tensió que de carrega.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

- **OCV**

El OPC (Open Circuit Voltage) defineix el voltatge de la bateria quan aquesta es troba en repòs i en circuit obert.

- **Resistència interna**

Com qualsevol material per les seves propietats, els compostos d'una bateria ofereixen una resistència al pas d'electricitat, oposició denominada com resistència interna. Aquest paràmetre pot descompondre alhora en dos tipus de resistències, òhmica i de polarització.

- $R_{\text{òhmica}}$: es la resistència d'elèctrodes, electròlit i frontera entre tots dos. Una major resistència òhmica provoca una menor tensió a la bateria, un menor temps de descàrrega i menor potència disponible. El seu modelatge proporciona valors perquè en gestionar la bateria es faci un millor ús de les cel·les del conjunt, la qual cosa pot portar a un major cicle de vida.
- $R_{\text{polarització}}$: es la resistència que depèn de la polarització química i de la concentració d'electròlit.

- **Cicles de vida**

Totes les bateries venen definides pel nombre de cicles de càrrega-descàrrega que serà capaç de dur a terme correctament. El nombre de cicles de vida varia en funció de l'ús que si li doni a la bateria i de la seva composició química, el que fa que sigui molt complicat definir un valor acotat pels fabricants.

- **Temperatura**

Influeix directament en les característiques dels components químics, per tant, en les característiques de transformació d'energia. El augment de temperatura fa que disminueix la tensió seguint l'equació de Nernst (detallada anteriorment), a demes de la capacitat útil de la bateria. Aquests dos factors provoquen un menor nivell d'energia emmagatzemada.

En una bateria formada per un gran nombre de cel·les hi ha una gran diferència de temperatura entre les cel·les de la bateria (per exemple les del mig tenen major temperatura que les dels extrems ja que no tenen tanta ventilació). Com s'ha dit anteriorment, la temperatura fa que variï el comportament de les cel·les, per tant les cel·les que es trobin a la zona més interna de la bateria no tindran el mateix comportament, i contribuiran a disminuir el cicle de vida del conjunt total.

- **Eficiència**

Es la relació entre quantitat de càrrega que subministra una bateria en relació a la càrrega que ha rebut anteriorment. Depèn de diferents paràmetres, com l'eficiència energètica, les pèrdues degudes a l' auto-descàrrega, la resistència interna, la velocitat de descàrrega o la temperatura. Com més lenta sigui la càrrega i la descàrrega major serà el rendiment, ja que les pèrdues seran menors.

- **Energia**

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

Depèn del nivell de tensió de carrega i de la capacitat de de descarrega de la bateria. A vegades també pot ser interessant representar la energia com energia específica, la qual a demes de la tensió de carrega i la capacitat, també depèn de la seva massa.

- **Densitat energètica**

La densitat energètica es la quantitat d' energia que pot subministrar un element en relació amb el seu volum. Depèn del voltatge i capacitat nominals, i es una de les majors avantatges de les bateries de liti. Es pot representar com a densitat gravimètrica (Wh/kg) o en densitat volumètrica (Wh/l). A continuació es pot veure dos gràfics on es compara la densitat energètica de diferents químiques i formats de cel·les, i un tercer on es compara la densitat energètica en funció del preu (€/Wh).

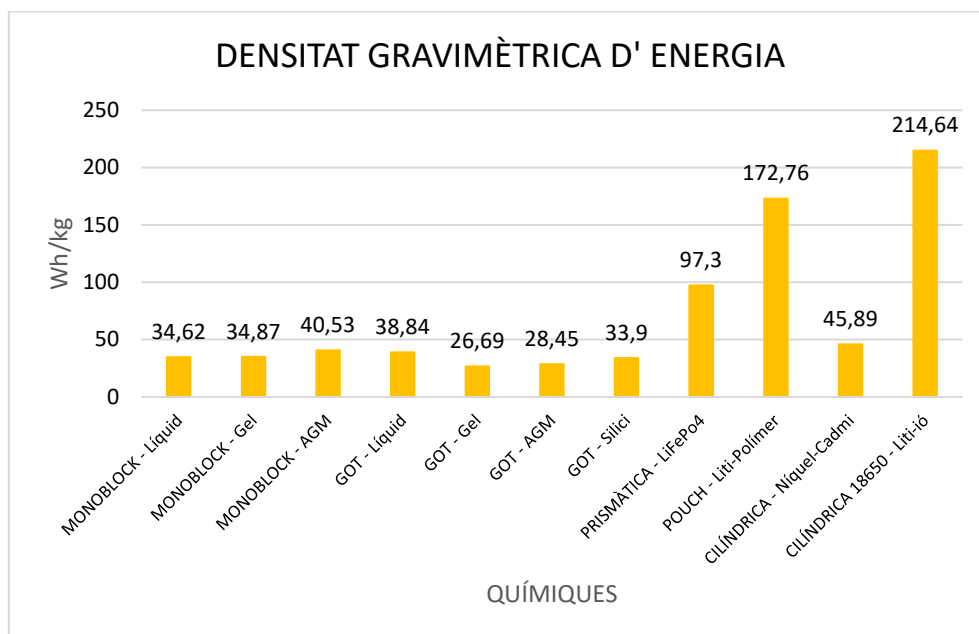


Figura 16. Gràfic densitat energètica gravimètrica.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
 Coderch Velasco, Pol

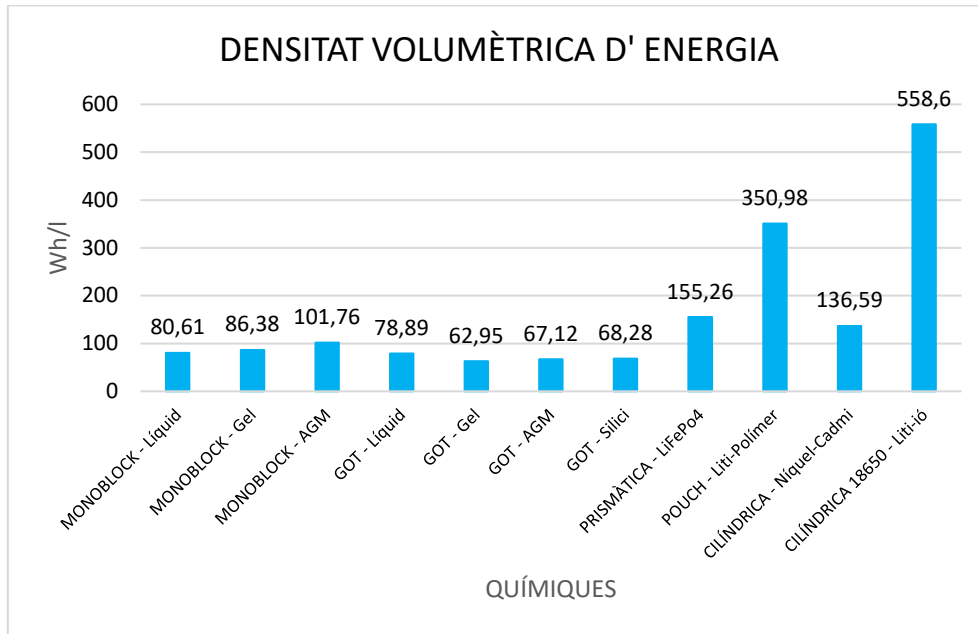


Figura 17. Gràfic densitat energètica volumètrica.

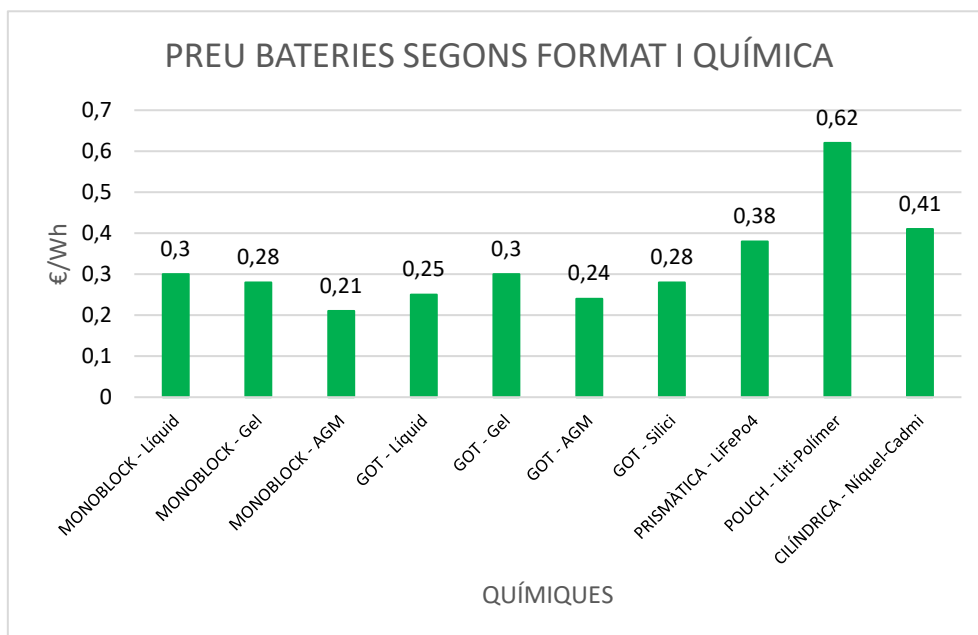


Figura 18. Gràfic densitat energètica en funció del preu.

- **DOD o SOD**

El Deep Of Discharge (DOD) o State Of Discharge (SOD) representa l'estat de descarrega, es a dir, la capacitat extreta d'una bateria en funció de la seva capacitat nominal. Aquesta es la variable complementària a l'estat de càrrega. Es molt important gestionar el DOD per tal de no sobrepassar el valor mínim de tensió per cel•la, ja que podria patir danys irreversibles. Per aquest motiu es molt important que la bateria disposi d'un BMS que gestioni el DOD, ja que millorarà la qualitat i la vida útil de la bateria.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

- **SOC**

El State Of Charge (SOC) es la capacitat disponible de la bateria en funció de la seva capacitat nominal, i s'expressa com a percentatge. El funcionament d'una bateria no depèn només de les entrades de tensió o corrent que se li apliquin, sinó que també depèn de l'estat inicial en què es trobi la bateria. És molt important gestionar el SOC per tal de no sobrepassar el valor màxim de tensió per cel·la, ja que es pot cremar. De la mateixa manera que el DOD és molt important que la bateria disposi d'un BMS que gestioni el SOC, ja que millorarà la qualitat i la vida útil de la bateria.

- **SOH**

El State Of Health (SOH) es la condició o capacitat de funcionament actual de la bateria en funció de la capacitat nominal, o el que és el mateix, la vida útil o envelliment. El SOH de la bateria determinarà l'eficiència a l'hora d'oferir les seves prestacions específiques, en referència a les seves característiques nominals.

Es considera envelliment d'una bateria al deteriorament irreversible, i per tant no compensable en el procés de càrrega, que hagi patit la bateria. Al ser un component electroquímics el deteriorament serà de tipus químic, concretament un canvi en la composició de les substàncies reactives.

El SOH és directament proporcional al nombre de càrregues i descàrregues que s'han fet a la bateria i la manera en com s' han fet. Com més intensos siguin els processos de descàrrega i càrrega major serà l'envelliment. Un mal ús de la bateria, pel que fa a temps i temperatura de funcionament, també pot provocar una disminució del SOH.

Els cicles de funcionament que pot complir una bateria depenen del tipus de descàrrega a la que ha sigut sotmesa. En concret la DOD i el SOH posseeixen una relació logarítmica, els cicles que serà capaç de complir la bateria disminuiran exponencialment com més gran sigui la profunditat de descàrrega. Aquest és un dels motius importants pel que és tant important que la bateria disposi d'un BMS que gestioni el DOD, SOC i SOH, ja que millorarà la qualitat i la vida útil de la bateria.

3.2. EMPAQUETAT DE LES CEL·LES

Actualment existeixen molt tipus d'empaquetat de cel·les, hi ha formats com és el cas de les cel·les tipus pouch que s'empaqueten directament entre elles amb aïllant retràctil o solucions similars.



Figura 19. Exemple empaquetat cel·les tipus pouch.

Disseny d'una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

En canvi hi ha altres formats com es el cas de les cel·les cilíndriques que s'empaqueten amb holders, els més comuns són del format cilíndric 18650, i posteriorment l'empaquetat de cel·les i holders es cobreix amb un aïllant retràtil. Això fa que sigui un format còmode per treballar a l'hora de fabricar un prototip de bateria, ja que es pot crear infinites combinacions entre els holders. Hi ha dos tipus de holders de format cilíndric, amb contactes i sense contactes.

- **Holders amb contactes**

Aquests tipus de holders tenen com avantatge que les connexions entre cel·les són més senzilles, ja que el mateix holder incorpora una placa de contacte i un sistema de connexió entre holders. El fet que el holder incorpori contactes i el sistema de connexió entre holders definit fa que no sigui gaire apte per a bateries d'alta capacitat de descàrrega.



Figura 20. Exemple empaquetat amb contactes per a cel·les cilíndriques.

- **Holders sense contactes**

Aquest tipus de holders ofereixen l'avantatge que es pot dimensionar la secció del contacte amb la cel·la en funció de la seva aplicació i capacitat de descàrrega, en contrapartida pel mateix motiu el seu muntatge és més complex ja que requereix d'un sistema de connexions extern al holder més sofisticat. Són els més comuns en bateries d'alta capacitat de descàrrega.

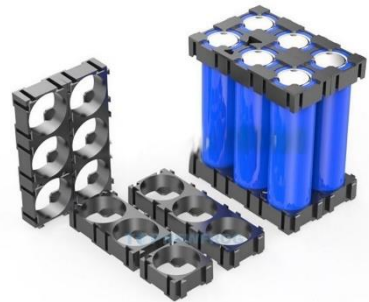


Figura 21. Exemple empaquetat sense contactes per a cel·les cilíndriques.

3.3. CONNEXIONS ENTRE CEL·LES

- **Barra de connexions tipus tira de níquel**

Són tires de níquel a mida dels holders, normalitzades, són una solució molt pràctica i còmode per la varietat de combinacions que hi ha al mercat i la facilitat de soldadura, el que fa que siguin molt usades en prototips a petita escala. S'acostuma a soldar amb soldador per punts. El inconvenient principal d'aquesta solució és que no és gaire recomanable per a bateries d'alta capacitat de descàrrega per la baixa conductivitat del níquel.



Figura 22. Exemple tira de níquel i níquel banyat en coure.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

- **Barra de connexions tipus xapa de coure amb contactes de níquel**

Son xapes de coure fetes a mida, es una solució molt recomanable per a bateries de producció en sèrie i prototipatge a gran escala. Son fàcils de muntar i senzilles de soldar perquè la superfície d'contacte es el níquel, s' acostumen a soldar amb soldador per punts. Com a inconvenient esta que no es una part normalitzada pel que es difícil i car de trobar en petites unitats.

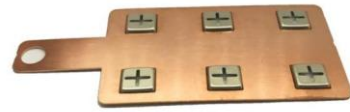


Figura 23. Exemple xapa de coure amb contactes de níquel.

- **Barra de connexions tipus xapa de coure**

Son tires o xapes de coure fetes a mida a partir d' una lamina normalitzada. Es la millor solució per a bateries d'alta capacitat de descarrega, ja que el busbar de coure es solda directament a la cel·la. La seva principal avantatge es que es pot fer servir en bateries d'alta capacitat de descarrega i fàcil es de modelar. Com inconvenient esta que es un sistema molt car de soldar ja que es necessita un soldador per punts tipus TIG per poder soldar el coure amb la cel·la sense malmetre-la.

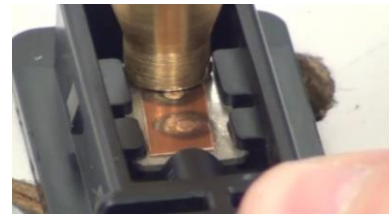


Figura 24. Exemple xapa de coure amb soldadura per punts TIG.

- **Barra de connexions tipus fuse-wire**

Aquest sistema consisteix en un filament normalitzat de coure estanyat que va soldat de la cel·la a la barra de connexions, aquest filament actua com a contacte i fusible a la vegada, de manera que si circula pel filament mes intensitat de corrent per la que esta dissenyat es fondrà. Això fa sigui un gran avantatge ja que actua com a sistema de protecció per cada una de les cel·les front un sobre pic de corrent que pugui malmetre la cel·la. es el sistema utilitzat en les bateries dels cotxes Tesla entre d'altres. Com es un producte normalitzat al mercat hi ha gran varietat de seccions amb els seus corresponents corrents de tall. Com a inconvenient esta que es un sistema molt laboriós ja que s'ha de soldar cadascuna de les cel·les a la barra de connexions amb el fuse-wire i s'ha de modelar la barra de connexions.

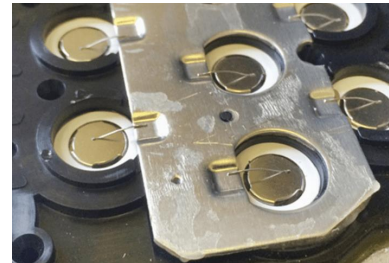


Figura 25. Exemple fuse-wire.

3.4. SISTEMA DE GESTIÓ DE LA BATERIA (BMS)

El BMS (Battery Management System) és el sistema de gestió i control de la bateria, el que fa segura la bateria, a demés ajuda a treure-li el major profit i rendiment. La principal funció del BMS és assegurar el correcte funcionament del conjunt de cel·les de la bateria i per això s'espera que realitzi les següents tasques:

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

- Monitoritzar la tensió de totes les cel·les o grup de cel·les connectades en sèrie
- Monitoritzar la temperatura
- Monitoritzar el corrent d'entrada i sortida de la bateria
- Aturar el procés de càrrega o descàrrega en el cas que algun paràmetre es surti del seu rang de treball
- Determinació de l'estat de la bateria
- Controlar la càrrega i descàrrega de la bateria
- Balanceig de les cel·les
- Comunicació amb l'usuari

Entre els tipus BMS destaquen dues arquitectures principals, el distribuït i el centralitzat. Independentment del BMS escollit, els fabricants consideren imprescindible la instal·lació d'un sistema capaç de controlar en tot moment el conjunt de cel·les de la bateria per tal d'evitar temperatures elevades i diferències importants de tensió entre elles. Aquests sistemes ben implementats poden augmentar la vida útil de la bateria d'una manera notable. Finalment destacar que el balanceig de les cel·les de la bateria és molt important també a l'hora d'allargar la seva vida útil, per tal que totes les cel·les treballin en les mateixes condicions de tensió, temperatura o corrent.

3.4.1. BMS CENTRALITZAT

Aquest tipus de BMS esta format per una única unitat de control, des de la qual s'ha de cablejar tots els sensors i borns de les cel·les, o grup de cel·les en paral·lel, per monitoritzar la seva tensió i realitzar el balanceig.

Te com avantatges que no és dupliquen components i a conseqüència d'això també son mes econòmics. A demés poden incorporar un microxip que gestiona la informació i realitza operacions i càlculs mes complexes que el distribuït. També acostumen a incorporar un software propi per a la seva configuració, ja que no s'han de programar.

Com inconvenient és troba la necessitat de tenir que cablejar fins a cadascuna de les cel·les o grup de cel·les en paral·lel, el que fa que el muntatge sigui mes complicat. També cal destacar que a diferència del distribuït, en el cas que una cel·la o grup de cel·les en paral·lel, es surti del seu rang de treball, el BMS desconnectarà tota la bateria com a precaució.

3.4.2. BMS DISTRIBUÏT

Aquest tipus de BMS consta d' una unitat de control principal que a través de CAN-BUS és comunica amb altres unitats de control secundàries. La unitat de control principal s'encarrega de gestionar la informació referent als valors de tensió, temperatura i aturar el procés de carrega i descarrega en cas necessari, tot això per cadascuna de les unitats de control secundàries. Les unitats de control secundàries s'encarreguen de funcions mes bàsiques com el balanceig de les cel·les.

Aquest tipus de BMS te com avantatges que pot treballar amb major nombre de cel·les i són mes independents, amb el qual poden desconnectar una única cel·la si aquesta és surt del seu rang de treball. Pel que fa al muntatge és mes fàcil que el centralitzat degut a que no s'ha de cablejar del BMS fins a cadascuna de les cel·les o grup de cel·les en paral·lel.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

Com inconvenient esta que són mes cars pel fet que és dupliquen components, això a la vegada fa que siguin mes difícils de programar ja que s'han de configurar les unitats de control secundaries i primària entre elles.

3.5. GESTIÓ MEDIAMBIENTAL

3.5.1. REUTILITZACIÓ

Afortunadament cada cop som mes conscients de la problemàtica mediambiental en la que ens trobem, on a demés cada vegada hi ha més escassetat de recursos naturals, si a sobre malbaratem aquells que ens són útils arribarà el punt en què no disposem dels mateixos.

Segons dades de Bloomberg NEF, són 55.000 els paquets de bateries de ions de liti gastats i retirats dels automòbils el 2018. Aquest nombre augmentarà a més de 3,4 milions en els propers cinc anys a mesura que el mercat global d'automòbils i autobusos elèctrics s'expandeixi ràpidament. I això sense comptar els smartphones i ordenadors. El pronòstic per a l'any 2040 és que més de la meitat de les vendes de cotxes nous i un terç de la flota mundial, seran vehicles elèctrics.

Es per això que algunes institucions i empreses prenen iniciatives per tal de reutilitzar les bateries de liti. A continuació s' esmenta alguns exemples:

- Al Japó, els propietaris del Nissan LEAF poden accedir a un interessant programa de recuperació de bateries usades, estalviant a més molts diners.
- Toyota instal·larà al Japó bateries reciclades per subministrar energia a una famosa cadena de botigues (7-Eleven) a través de panells solars.
- El govern Xinès està implementant una normativa per fer que els fabricants d'automòbils es facin responsables de les bateries gastades i les mantinguin fora dels abocadors.
- A Europa, la Comissió Europea va abordar les barreres burocràtiques pel que fa al reciclatge i la utilització de les bateries dels cotxes elèctrics. Aquest acord investigarà l'existència de possibles barreres legislatives i reglamentàries a nivell nacional i europeu per atorgar a les bateries una segona vida així com possibles formes de superar aquestes barreres, avaluant la seva viabilitat dins de l'economia circular.

També hi ha casos particulars on s'aprofiten les bateries de ions de liti per al subministrament d'energia per habitatges. En aquests casos el que es fa es aprofitar les cel·les que es consideren velles o defectuoses per al us inicial, per a la fabricació de bateries tipus PowerWall de Tesla.

3.5.2. RECICLATGE

Avui en dia en el procés de reciclatge de les bateries de ions de liti no s'aprofiten tots els materials degut al alt cost de recuperació. El preu del liti és d' uns 6 €/kg, es un preu suficientment baix com perquè no hi hagi un moviment privat a favor del reciclatge. En el procés de reciclatge de les bateries de liti els metalls que s'extreuen són aquells més

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

valuosos, com el cobalt. El cobalt s'utilitza en les bateries de ions de liti, d'on després s'extreu en forma d'òxid de cobalt i liti, amb un preu de 19 €/kg, més de tres vegades el preu de mercat del liti.

Utilitzant mètodes de tecnologia minera de processament de minerals de fa un segle, un grup d'enginyers químics de la Universitat Tecnològica de Michigan, liderats per Lei Pa, han trobat solució a com reciclar de manera econòmica les bateries de ions de liti. Amb aquest mètode l'equip va aconseguir separar tots els components de la bateria preservant la seva integritat funcional, com: la carcassa, làmines metàl·liques i recobriments per a l'ànode i el càtode, que inclou el valuós òxid de metall de liti, i recuperar tots els materials com el grafit, el liti i el cobalt de manera que poden entrar de nou en el cicle per fabricar en bateries noves. Aquest estudi ha estat publicat a Sustainable Materials and Technologies.

Aquesta tecnologia minera es la mes barata disponible i existeix infraestructura per implementar-la. El que fa que sigui un procés econòmic i eficient en energia, que a demes a l'hora de fabricar noves bateries amb el material reciclat les prestacions són tan bones com amb els materials nous, però més econòmics.

4. DISSENY DE LA BATERIA

En aquest capítol es detallarà el disseny complet de la bateria, per quines solucions s'ha optat i perquè. Com s' ha vist en el capítol 5 de càlculs justificatius, la bateria estarà formada per 30 mòduls en sèrie de 25 cel·les en paral·lel, per tant la fabricació de la bateria es dividirà en la fabricació de 30 mòduls iguals, els quals estaran formats per les 25 cel·les en paral·lel. Posteriorment aquest mòduls seran connectats en sèrie entre ells.

Fabricar la bateria en 30 mòduls iguals té com avantatge que es treballa a molt baixa tensió, en aquest cas 3'7 VDC, el que fa que sigui molt més segur que treballar a més elevades tensions, ja que cada mòdul de 25 cel·les en paral·lel té una capacitat de descarrega de 78 Ah nominals i equival a un pic de corrent de fins a 800 A, tot i que es limitarà electrònicament.

També es detallarà un esquema elèctric de la bateria amb cadascun dels components que la formen, el qual estarà adjunt com Annex 13.

4.1. MÒDUL DE 25 CEL·LES EN PARAL·LEL

En aquest apartat s'explicarà la fabricació d'un dels 30 mòduls iguals que es connectaran en sèrie, el qual està format de 25 cel·les en paral·lel.

4.1.1. CEL·LES

Després d' una exhaustiva comparativa entre cel·les, adjunta al Annex 4, finalment la cel·la escollida per fabricar el paquet de bateries es de la marca Sony, en concret el model US18650VTC6, es una cel·la de format cilíndric d' alta capacitat de descarrega. Els motius pels quals s'ha escollit aquesta cel·la es per la seva alta densitat energètica, baixa resistència interna, baix pes i preu molt ajustat al ser un model molt comú en diferents aparells d' avui en dia, a continuació es pot veure un resum de les característiques tècniques de la cel·la segons el fabricant:

Marca	SONY	
Model	VTC6	
Química	Liti-NiMnCo	
Format	Cilíndric 18650	
Diàmetre	18,5	mm
Longitud	65,2	mm
Tensió màxima	4,2	VDC
Tensió nominal	3,6	VDC
Tensió mínima	2,5	VDC
Capacitat nominal	3,12	Ah
C-Nominal	1	C
Descarrega Continua	15	A
C-Continua	5	C
Descarrega pic (<40 seg.)	30	A

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

C-Pic (<40 seg.)	10	C
Densitat energètica	631	Wh/l
Impedància interna	8 < 18	mΩ
Impedància interna mitjana	13	mΩ
Pes	46,6	g
Preu unitat	2'8	€

Taula 2. Característiques tècniques cel·la, Sony US18650VTC6.



Figura 26. Cel·la model Sony US18650VTC6.

4.1.1.1. CONDICIONAMENT DE LES CEL·LES

El primer que s'ha fet es comprovar que totes les cel·les estan en bon estat i tenen la tensió que indica el proveïdor. A continuació s'han preparat per poder treballar millor amb elles i de manera mes segura.

S'han rascat lleugerament la capa superficial dels borns positius i negatius per tal que la soldadura agafi mes fàcil i ràpidament, ja que si s'està molta estona soldant les cel·les es poden cremar.

També s'ha afegit un aïllant tèrmic de paper als borns positius i negatius per tal d'evitar que es fongui el plàstic aïllant amb la temperatura, ja que es de molt baixa qualitat. Això podria causar molts problemes, principalment en el born positiu el qual sense plàstic aïllant queda molt a prop de la carcassa, que es el born negatiu, i pot curtcircuitar-se molt fàcilment amb els mateixos contactes o per un excés de soldadura.

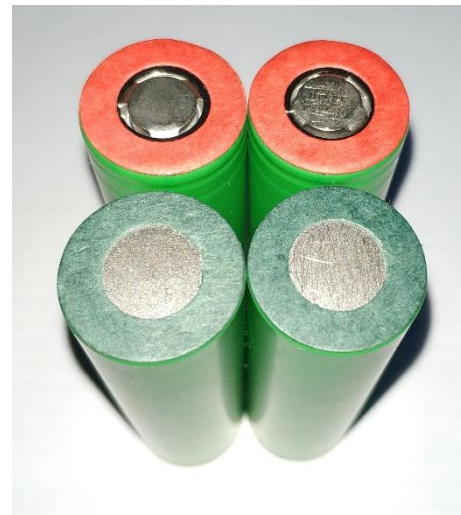


Figura 27. Condicionament de les cel·les .

4.1.2. EMPAQUETAT DE LES CEL·LES (HOUSING)

El empaquetat entre elles es realitzarà mitjançant holders de dos cel·les, dels quals s'ajuntaran 13, formant dos columnes de cel·les, en una columna hi aniran 12 cel·les i en l'altra 13, aquest total de 25 cel·les estaran connectades en paral·lel. S'ha escollit aquesta solució perquè es la que aporta més varietat de configuració, degut a la gran varietat de models que hi ha al mercat, i el seu baix preu.

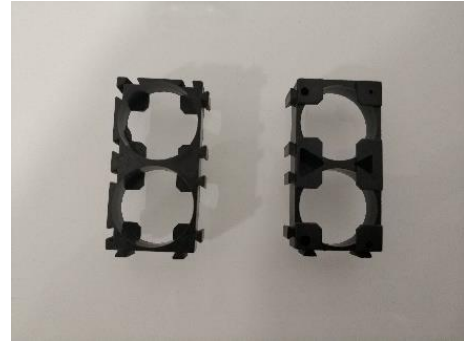


Figura 28. Holders tipus 2p.

Al conjunt de 13 holders s'hi faran uns petits forats per tal de fixar la barra de connexions al holder amb brides, tal i com es pot veure a la següent figura.



Figura 29. Exemple muntatge holders 26p amb brides de sujecio busbar.

4.1.3. BARRA DE CONNEXIONS (BUSBAR)

La barra de connexions o busbar esta formada per dos parts, una espina central formada per una barra rodona de coure de 6mm de diàmetre, i unes connexions que van de la cel·la a aquesta espina central. La espina central serà comú per el busbar positiu i negatiu, i una serà la imatge de l'altre.

A aquesta espina central se li donarà forma a un dels seus extrems per tal d'apropar-la al seu punt de sortida, el que seria el born. A on se li grimparà un terminal de coure al que se li col·locarà un reductor de rosca al seu forat fixat amb una rosca, aquest reductor de rosca servirà per connectar els mòduls entre si a traves de ponts de coure flexibles o rígids.



Figura 30. Model de born busbar.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol



Figura 31. Model busbar.

A continuació per acabar la espina central es protegirà amb termoretràctil aïllant de 1 kV la part treballada, ja que sense protecció es la part que pot tenir algun hipotètic risc de curtcircuit. Com a mesura de precaució i seguretat es protegirà totes les parts sensibles a un curtcircuit o de fàcil accés amb aïllant de 1kV.

S' ha optat per aquest solució perquè s' esta dissenyant una bateria d'alta capacitat de descarrega, pel que es necessari una barra de connexions per la que pugui circular corrents de fins a 520 A, tot i que seria en casos molt puntuals.



Figura 32. Model born busbar acabat.

4.1.3.1. BARRA DE CONNEXIONS BORN NEGATIU

Les connexions de la espina central negativa amb el born negatiu de cada una de les 25 cel·les serà amb aquestes petites peces o terminals de coure. Aquests terminals aniran soldats a la espina central i a les cel·les.



Figura 33. Tipus de terminal utilitzat.

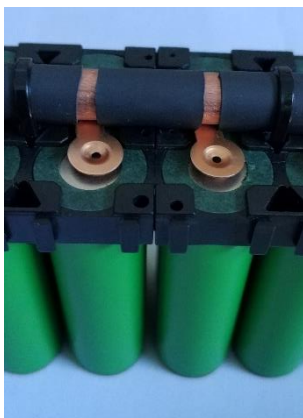


Figura 35. Exemple posicionament entre terminals i cel·les.

Primer de tot es posicionaran els terminals amb termoretràctil a la espina central, i posteriorment es comprovarà que tots els terminals coincideixen amb la seva corresponent cel·la. Un cop estan tots els terminals ben centrats es soldaran amb la espina central pel petit forat que queda al centre del terminal.

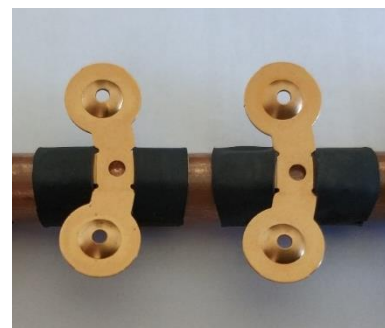


Figura 34. Exemple punt de soldadura terminals amb busbar.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

A continuació, un cop estan tots els terminals soldats a la espina central ja es pot fixar la barra de connexions amb les brides al holder.

Per últim es solda les cel·les amb el seu corresponent contacte. Durant la soldadura cal tenir en compte de no escalfar excessivament la cel·la, ja que es pot cremar, igual que amb el protector de plàstic aïllant que es molt delicat i es trenca o es fon molt fàcilment.

Per donar per acabada aquesta barra de connexions es comprovarà que les soldadures hagin quedat be. Primer, amb un tornavís s'exercirà una lleugera palanca sobre els terminals per veure si alguna soldadura ha quedat fluixa i salta. A continuació, una vegada comprovades les soldadures, es mesurarà la tensió de les cel·les des de l' extrem de la barra de connexions negativa al born positiu de cada una de les cel·les. D'aquesta manera es sabrà si alguna cel·la tot i estar ben soldada no fa bon contacte, o en el pitjor dels cassos que s'ha fet malbé per un excés de temperatura o curtcircuit durant la soldadura.

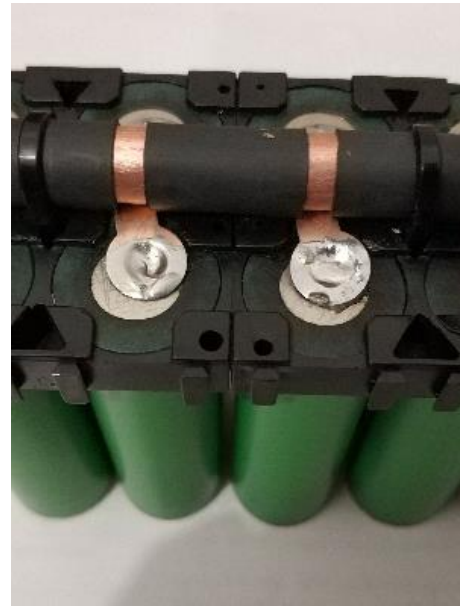


Figura 36. Exemple resultat final soldadura busbar born negatiu..



Figura 37. Busbar born negatiu acabat.

4.1.3.2. BARRA DE CONNEXIONS BORN POSITIU

Les connexions dels borns positius de les cel·les amb la espina de central de la barra de connexions positiva es farà amb fuse-wire, el qual actuarà com a fusible fonent-se quan per ell hi circulin, en aquest cas, més de 32 A. En aquest cas el mòdul serà capaç de subministrar pics de corrent de fins a 800 A, tot i que es limitarà electrònicament a gairebé 520 A



Figura 38. Carret de fuse-wire de 32A.

S'ha optat per aquesta solució per que a demés de complir amb la seva funció com a conductor, igual que un terminal, aporta a la bateria un plus de seguretat respecte altres

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

sistemes pel fet que s' esta protegint cada una de les cel·les front un excessiu pic de corrent que podria arribar a causar un dany en cadena estenent-se en tota la bateria.

Per començar es fixarà la espina central positiva als holders amb les brides, i es muntarà amb les cel·les ja soldades amb la seva corresponent barra de connexions i holder, pel que a falta de soldar el fuse-wire, ja estaria el mòdul de 25 cel·les en paral·lel quasi acabat.



Figura 39. Busbar born positiu.

Abans de soldar el fuse-wire es prepararan les cel·les, de manera que al moment de soldar sigui més ràpid i senzill. D'aquesta manera s'evita fondre el plàstic aïllant per un excés de temperatura o debilitar el fuse-wire que es de coure estanyat.

Primer de tot es farà un punt de soldadura a cada una de les cel·les i posteriorment se li afegirà un mica de grassa antioxidant perquè al soldar el fuse-wire la soldadura sigui més neta i ràpida.

Al soldar els borns positius cal tenir més precaució, ja que el pol positiu i la carcassa, que a la vegada es el born negatiu estan relativament a prop i si es fon el plàstic aïllant o hi ha un excés d'estany en la soldadura pot provocar un curtcircuit.

Finalment, es solda el fuse-wire de la espina central a cada una de les cel·les. Per assegurar el bon contacte del fuse-wire amb la espina central, s' ha llaçat sobre la espina central i s'ha marcat un punt de soldadura que uneix la volta del llaç.

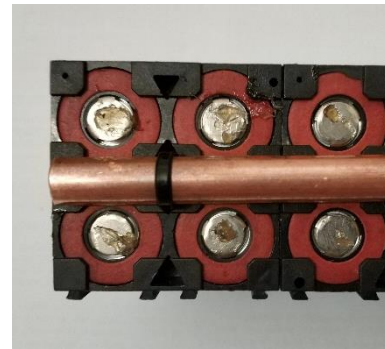


Figura 40. Exemple condicionament cel·les amb grassa antioxidant.

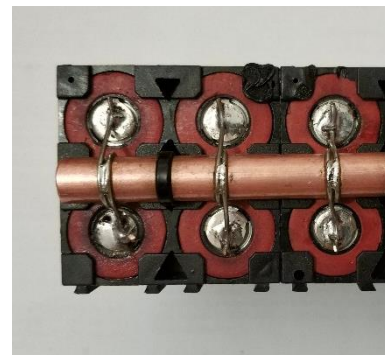


Figura 41. Exemple resultat final de soldadura busbar amb fuse-wire.

4.1.4. MODUL DE 25 CEL·LES EN PARAL·LEL

Ara ja esta el mòdul de 25 cel·les en paral·lel muntat i per acabar se'l hi posarà una tapa de plàstic en els bornes del mòdul per evitar-hi l'accés de qualsevol element indegut,

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

també es protegirà amb un termoretràctil de protecció aïllant de 1kV. D'aquesta manera el mòdul estarà completament aïllat i protegit per la seva manipulació i muntatge amb altres mòduls en sèrie, ja que només es podrà accedir als borns del mòdul amb cargols de mètric 10. A més no condicionarà el material amb el que es fabriquï el acumulador de la bateria ja que no podrà haver ningun contacte involuntari entre parts metàl·liques dels mòduls i el acumulador.



Figura 42. Mòdul de 1s25p acabat, sense aïllant.



Figura 43. Mòdul 1s25p acabat amb termoretràctil aïllant de 1 kV.

4.1.4.1. BARRA DE CONNEXIONS ENTRE MODULS

Per connectar els mòduls en sèrie, es faran servir ponts de coure rígids o flexibles, la elecció serà en funció de la distribució final dels mòduls dintre del acumulador i de les necessitats del moment.



Figura 44. Exemple pont de coure rígid.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

Finalment el conjunt de mòduls connectats en sèrie entre si tindria un aspecte similar al següent.



Figura 45. Exemple connexions entre mòduls de la bateria.

4.2. SISTEMA DE GESTIÓ DE LA BATERIA, BMS

El BMS escollit per la bateria es de la marca Ewert Energy Systems, en concret el model Orion BMS 2 de 36 cel·les. S' ha escollit aquest model perquè es molt compacte i fàcil de configurar, ja que al ser un BMS centralitzat incorpora un software per configurar-lo i no requereix de programació. A demés es un model molt utilitzat a nivell professional en automoció el que assegura que te un recorregut en el mercat i complirà amb les expectatives per les altes exigències del sector.



Figura 46. BMS Orion BMS 2.

La unitat de control principal del BMS s'encarregarà de fer les següents funcions:

- Monitoritzar la tensió de totes les cel·les connectades en sèrie, en aquest cas cada mòdul connectat en sèrie.
- Balanceig passiu de les cel·les, amb una resolució en la mesura de 0'1 mV i un error del 0'25%.
- Limitar la tensió màxima per cada cel·la connectada en sèrie, en aquest cas cada mòdul connectat en sèrie es limitarà una tensió màxima de 3.9999 VDC, tal com queda justificat al capítol de càlculs justificatius subapartat 5.2.2.
- Limitar la tensió mínima per cada cel·la connectada en sèrie, en aquest cas cada mòdul connectat en sèrie es limitarà a una tensió mínima de 3'2 VDC, tal com queda justificat al capítol 5 càlculs justificatius subapartat 5.2.2.

- Limitar el corrent màxim de descarrega de la bateria, en aquest cas es limitarà a 515 A, ja que el màxim que pot suportar el controlador es de 517'11 A, tal com queda justificat en el capítol 6 plec de condicions al subapartat 6.2.2.
- Limitar el corrent màxim de carrega de la bateria, en aquest cas com els mòduls estan formats per 25 cel·les en paral·lel serà de 125 A, tot i que ens quedarem amb 120 A deixant així un marge de 5 A. Que com es pot veure al full de característiques de les cel·les adjunt com Annex 5, el corrent màxim de carrega continua que pot suportar la cel·la es de 5 A.
- Limitar la temperatura màxima de funcionament, que com es pot veure al full de característiques de les cel·les adjunt com Annex 5 la màxima serà de 80°C i la mínima de -20°C.
- Monitorització del SOC, State Of Charge, concepte que ha sigut explicat al capítol 3 estat del art apartat 3.1.
- Monitorització del SOD, State Of Discharge, concepte que també ha sigut explicat al capítol 3 estat del art apartat 3.1.
- Càlcul del SOH, State Of Health, concepte que també ha sigut explicat al capítol 3 estat del art apartat 3.1.
- Monitorització del OCV, Open Circuit Voltage, concepte que també ha sigut explicat al capítol 3 estat del art apartat 3.1.
- Càlcul de la resistència interna de la bateria i de cada cel·la connectada en sèrie, en aquest cas cada mòdul connectat en sèrie.
- Compatible amb múltiples aplicacions de diagnòstic i adquisició de dades com Torque o EngineLink

Com es pot veure es un BMS molt polivalent, el qual allargarà la vida útil de la bateria, ajudant a preveure possibles falles i fent la bateria molt més segura. A continuació es detallarà els connectors i parts principals del BMS, els quals es poden veure a la imatge següent:

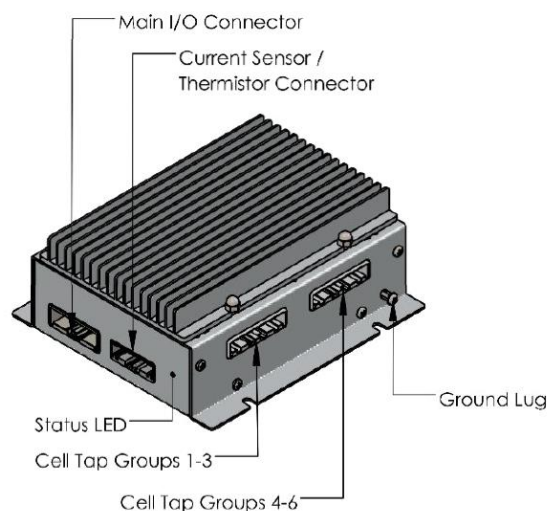


Figura 47. Exemple connexions Orion BMS 2 de 36 cel·les.

4.2.1. CONNECTOR PRINCIPAL, MAIN I/O

Aquest es el connector principal on es troben els pins d'alimentació del BMS, entrades i sortides, a continuació es pot veure una taula on es detalla els pins que es faran servir i quina serà la seva funció, tot i que al esquema conceptual adjunt com annex 13 queda més detallat:

Pin Main I/O Connector	Descripció
1	Alimentació del BMS mode basic, s'alimenta a través del sistema LV.
2	Alimentació del BMS mode descarrega. En aquest cas el BMS s'alimenta a través del sistema GLVS, el qual s'explica al esquema conceptual.
3	Alimentació del BMS mode càrrega. En aquest cas el BMS s'alimenta a través del sistema GLVS, el qual s'explica al esquema conceptual.
4	Mesurament del SOC i SOD, es una sortida analògica de 0 a 5 V que representa el nivell càrrega com a percentatge del total establert
5	Representa el corrent durant el procés de càrrega, es una sortida analògica de 0 a 5 V que representa aquest corrent com a percentatge del valor màxim establert.
6	Es una sortida on/off per excitar la bobina d'un contactor. En aquest cas després d'un test intern, si el BMS esta en condicions de càrrega tancarà el contactor de línia que donarà pas al procés de càrrega.
7	Es una sortida on/off per excitar la bobina d'un contactor. En aquest cas després d'un test intern, si el BMS esta en condicions de descarrega tancarà el contactor de línia que donarà pas al procés de descarrega.
10	Es una sortida on/off que excitarà la bobina d'un relé, tancant el circuit d'alimentació al sistema de refrigeració quan la bateria superi el valor de temperatura establert.
12	Massa
16	Representa el corrent durant el procés de descarrega, es una sortida analògica de 0 a 5 V que representa aquest corrent com a percentatge del valor màxim establert.
17-18-19	CAN 1 Shield-High-Low. CAN per a la configuració del software.
20-21-22	CAN 2 Low-High-Shield. CAN per la transferència de dades entre el BMS i el controlador del motor.

Taula 3. Pinout del connector principal, Main I/O, utilitzat del BMS.

4.2.2. CONNECTOR BALANCEIG DE CEL·LES I CONTROL, CELL TAP

En aquest connector s'agruparà totes les sortides procedents del control i balanceig passiu de les cel·les.

Aquest BMS internament es divideix en tres blocs per tal de treballar a mes baixa tensió durant el procés de balanceig perquè sigui mes eficient i amb menys pèrdues, cada bloc pot encarregar-se del balanceig i control de 12 cel·les en sèrie, es diferencien pel color del seu cablejat i tenen entre ells un aïllament de 2'5 kV. Com la configuració de la bateria es de 30 mòduls en sèrie, cada bloc del BMS treballarà amb 10 mòduls en sèrie

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

perquè tots tres blocs treballin de forma equilibrada. A continuació es pot veure una representació del connector a través del qual es realitzarà el balanceig.

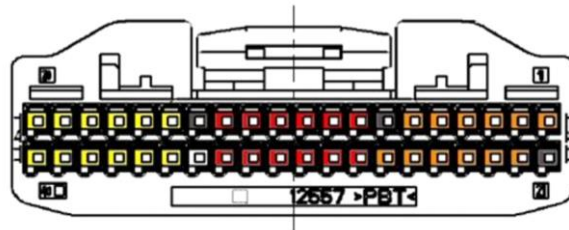


Figura 48. Grups de balanceig connector cell tap.

En el bloc taronja es connectaran els mòduls del 1 al 10, en el vermell els mòduls del 11 al 20 i en el groc del 21 al 30. Els mòduls s'hauran de connectar en sèrie seguint el mateix ordre que s'ha seguit per connectar amb el cablejat, si no fos així el BMS pot quedar inoperatiu com a sistema de autoprotecció. El procediment per connectar cada grup de 10 mòduls serà el mateix però amb el seu corresponent color de cablejat

Al primer mòdul del grup de 10 mòduls, li arribarà al seu born negatiu el cable procedent del pin numerat amb signe negatiu, i al seu born positiu el cable procedent del pin amb la mateixa numeració però sense el signe negatiu. Com es pot veure a la imatge següent per cada bloc de balanceig del BMS, diferenciats per colors del cablejat, hi ha un numero que es repeteix i un d'ells té el signe negatiu a continuació del numero.

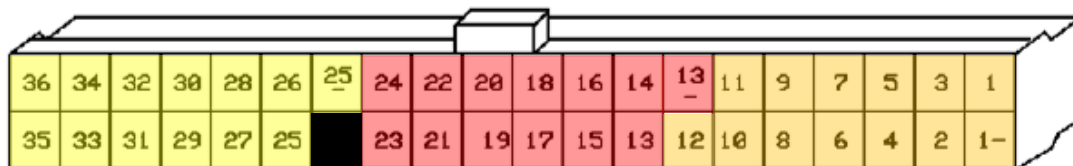


Figura 49. Pinout connector cell tap amb grups de balanceig per colors.

A continuació, seguint l'ordre en que els mòduls son connectats en sèrie i l'ordre de pinejat del connector, es connectarà a el cable del pin amb el corresponent born positiu, es a dir, el pin numero 2 al born positiu del segon mòdul en sèrie del grup de 10, el pin numero 3 al born positiu del tercer mòdul, i així fins arribar al últim mòdul.

Com s' ha dit, per cada bloc de balanceig i control de cel·les del BMS, nomes es faran servir 10 dels 12 canals disponibles, per tant en aquest cas els cables procedents dels pins 11 i 12 també aniran connectats al born positiu del desè mòdul del grup de 10. Al esquema conceptual adjunt com annex 13 es pot veure amb mes detall totes les connexions.

Una vegada estiguin connectats tots el cables de balanceig i control del grup de 10 mòduls, per evitar que el BMS es des programi, es molt important comprovar que s' ha realitzat les connexions correctament. Per verificar que s'ha connectat correctament es mesurarà la tensió entre el pin numerat amb signe negatiu i cascun dels altres del grup en ordre ascendent a la seva numeració, i s'ha d'observar que al augmentar la

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

numeració del pinejat sempre augmenta la tensió proporcionalment a la tensió d'un mòdul.

4.2.3. CONNECTOR SENSOR CORRENT, TERMISTORS I MESURA DE TENSÍO

El connector del sensor de corrent, mesura de tensió de la bateria i dels termistors ja ve cablejat pel que no caldrà fer cap tipus de connexió, a continuació es pot veure el seu pinejat, tot i que al esquema conceptual adjunt com annex 13 queda més detallat.

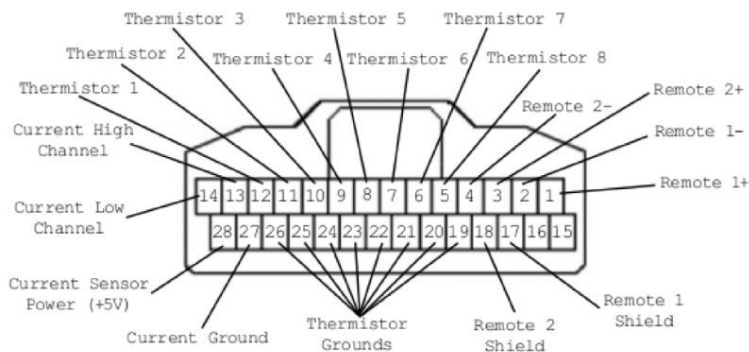


Figura 50. Esquema pinejat connector termistors, sensor de corrent i mesura de tensió.

El sensor de corrent es d'efecte hall i pot mesurar una intensitat de corrent de 800 A. Pel que fa als termistors, el BMS inclou 8 termistors, tot i que si es necessari se li pot afegir un mòdul d'expansió capaç de suportar fins a 80 termistors. A la mateixa vegada es poden arribar a instal·lar 10 mòduls d'expansió, el que vindria a suposar fins a 800 termistors.



Figura 51. Sensor de corrent efecte hall.

4.2.4. ELEMENTS DE SEGURETAT DE LA BATERIA

En una moto elèctrica, el sistema elèctric és la part essencial per al seu funcionament. En tot sistema elèctric hi ha un risc elevat de que es produeixin accidents causats per diferents motius com curtcircuits o per fuites elèctriques a causa de contactes directes o indirectes. Cal tenir en compte que la bateria pot treballar a una tensió de 120V en corrent continu. Aquesta tensió treballant en corrent continu suposa un risc elevat, ja que es tracta d'una tensió molt elevada. La majoria de les parts que formen el sistema elèctric van fixades al xassís de la motocicleta, el qual es conductor, de manera que qualsevol anomalia en el sistema, el xassís es convertiria en part d'ella i hi ha perill de tenir un accident elèctric.

Disseny d'una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

4.2.4.1. SISTEMA D'AÏLLAMENT ELÈCTRIC, IMD

L'objectiu principal del sistema d'aïllament elèctric és la desconexió total del sistema tal com s'indica a l'article 6 de la secció D del reglament de la competició de MotoStudent. S'utilitzarà el dispositiu electrònic, IMD, que ha proporcionat la organització de la competició. La prioritat és que fora del acumulador de la bateria no hi hagi tensió en cap dels components del sistema elèctric quan es detecti una fuga independentment de la causa que l'hagi produït.

El ISOMETER IR155-3203 vigila l'aïllament entre el conductor d'alta tensió (HV) del sistema elèctric de tracció ($U_n = 0-1000$ VDC) i la terra de mesura (massa del vehicle). Aquest dispositiu vigila l'aïllament de la part de tensió contínua de les bateries i de la part de tensió alterna del motor de tracció. Donada la forma constructiva compacta i la tècnica de mesura, aquest dispositiu és ideal per al seu ús en vehicles elèctrics.



Figura 52. Dispositiu d'aïllament electrònic IMD.

4.2.4.2. CONTACTOR DE LÍNIA I FUSIBLE

A part de sistema d'aïllament IMD, el reglament de la competició MotoStudent al article D, també especifica l'ús obligatori d'un fusible en la sortida de la bateria, en aquest cas es col·locarà a la sortida del born negatiu. Degut al mètode constructiu de la bateria, els ponts d'unió entre mòduls en sèrie podrien ser substituïts per fusibles, es a dir, de born substitut d'un mòdul a born negatiu del següent mòdul, així es podria col·locar fusibles en el interior de la bateria entre els mòduls. El fusible que muntarà la bateria es de la marca SIBA de 500 A, es pot veure el full de característiques adjunt com annex 9.

La bateria disposarà de dos contactors de línia del tipus normalment obert, NO, muntats en paral·lel, un per la línia de càrrega i un altre per la línia de descarrega, això serà només en el seu tram final, de manera que les línies estaran aïllades l'una de l'altre. Així doncs la bateria tindrà 2 positius i 2 negatius de alta tensió, un parell pel controlador i un altre parell pel carregador. Els contactors de línia seran de la marca Albright model SU280B, al annex 8 adjunt es pot veure el seu full de característiques.

4.3. ESQUEMA ELÈCTRIC CONCEPTUAL DE LA BATERIA

Després de veure tots els components i dispositius que instal·larà la bateria, s'ha elaborat un esquema conceptual on figuren tots i cadascun dels components esmentats

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

anteriorment. També hi figuren relés, fusibles, díodes, una resistència i un polsador tipus seta que formaran part d'un circuit imprès o PCB en el seu defecte, aquest últims components son de caire habitual pel que no se li ha donat la importància com per detallar-los, tot i que figuren al esquema conceptual i al pressupost. A la següent figura es pot veure el detall del esquema conceptual, tot i que queda adjunt com annex 13 per la seva millor visualització. La instal·lació elèctrica del prototip esta formada per tres sistemes:

- Low Voltatge, LV: serà la part de la instal·lació de menys de 40 VDC, i en l'esquema conceptual es representa en color vermell el positiu i negre el negatiu. D'aquest sistema en formaran els components que siguin necessaris tenir en funcionament sense tenir el sistema HVS activat, com per exemple elements de control com un voltímetre per saber la tensió de la bateria, tal i com demana el reglament de la competició MotoStudent en la secció D.
- Ground Low Voltage System, GLVS: serà la part del sistema de baixa tensió, LV controlada pel sistema d'aïllament IMD de manera que si el IMD detecta una falla deixarà inoperatiu el sistema GLVS. A conseqüència d'això els sistema HVS també quedarà aïllat del exterior de la bateria, ja que el sistema HVS depèn del sistema GLVS. El cablejat d'aquest sistema es representa en color lila el senyal positiu i en color marro el negatiu, GND en aquest cas. També s'ha diferenciat la part de senyal en verd i CAN en blau.
- High Voltatge System, HVS: serà la part de la instal·lació de mes de 40VDC, i en l'esquema conceptual es representa en color taronja, en secció gruixuda els cables de potencia i en secció mes prima els de senyal.

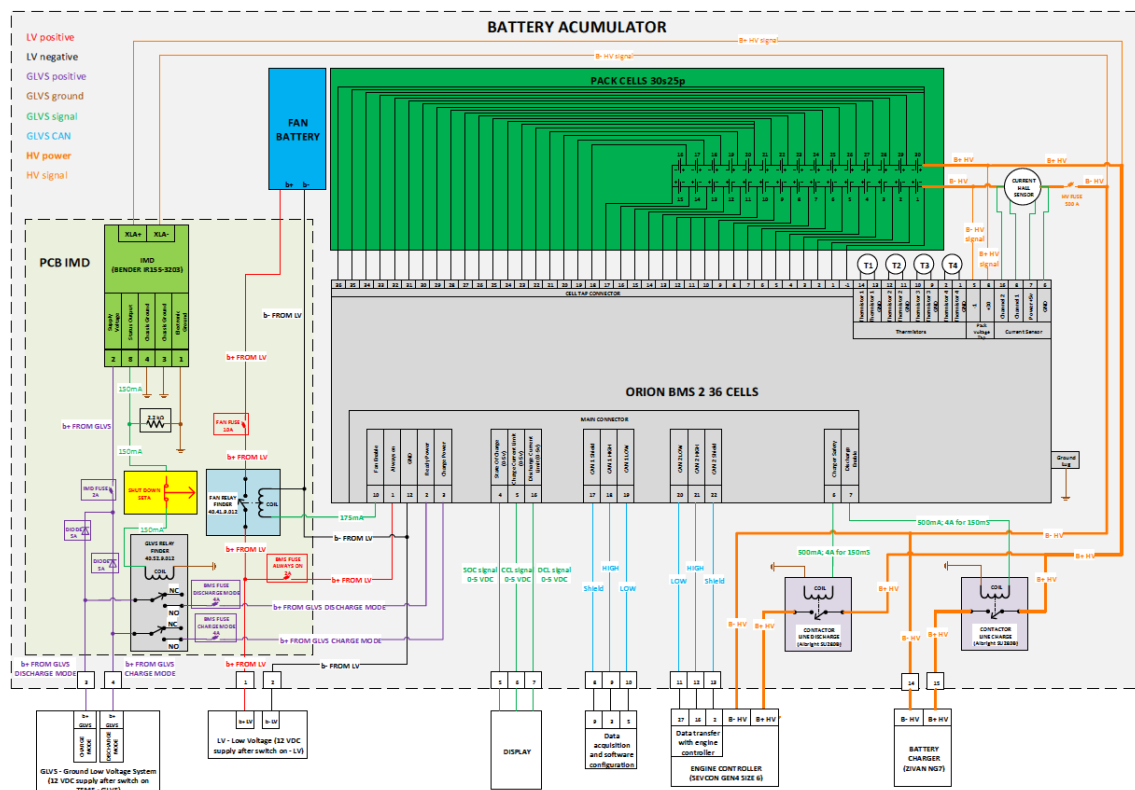


Figura 53. Detall del esquema conceptual de la bateria.

5. CÀLCULS JUSTIFICATIUS

En aquest capítol es veurà els fonaments teòrics sobre els que es desenvoluparà el projecte, els càlculs que no siguin desenvolupats durant el capítol seran detallats en l'annex adjunt numero 3 càlcul d'autonomia.

5.1. CÀLCUL AUTONOMIA

A continuació es plantegen els fonaments teòrics sobre els quals s'ha realitzat el càlcul de l' autonomia i capacitat de la bateria. Els càlculs queden desenvolupats al Annex 3, l' Annex 3 es un full de càlcul on es desenvolupa el càlcul cinemàtic, dinàmic i energètic del circuit de MotorLand (Aragó) tram a tram tal com s' ha definit al capítol 2 apartat 1. Amb aquest full de càlcul s' obté l' autonomia total de la bateria i capacitat en funció de la seva tensió màxima.

5.1.1. ESTUDI CINEMÀTIC DEL CIRCUIT

5.1.1.1. ACCELERACIÓ

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = m/s^2$$

On:

- v_f : velocitat final, m/s.
- v_i : velocitat inicial, m/s.
- t_f : temps final, s.
- t_i : temps inicial, s.

5.1.1.2. EQUACIÓ VELOCITAT

$$v_f = v_i + a \cdot (t_f - t_i) = m/s$$

On:

- v_i : velocitat inicial, m/s.
- a : acceleració, m/s^2
- t_f : temps final, s.
- t_i : temps inicial, s.

5.1.1.3. EQUACIÓ DEL MOVIMENT

$$x_f = x_i + v_i \cdot (t_f - t_i) + \frac{a \cdot (t_f - t_i)^2}{2} = m$$

On:

- x_i : posició inicial, m.
- v_i : velocitat inicial, m/s.
- t_f : temps final, s.
- t_i : temps inicial, s.
- a : acceleració, m/s^2

5.1.2. ESTUDI DINAMIC DEL CIRCUIT

5.1.2.1. RESISTENCIA RODADORA.

$$R_R = \mu_r \cdot m \cdot g \cdot \cos(\tan^{-1}(\%)) = N$$

On:

- μ_r : coeficient resistència rodadora, adimensional.
- m : massa exposada a la força resistent, kg.
- g : acceleració de la gravetat, m/s^2 .
- %: percentatge del pendent, %.

5.1.2.1.1. COEFICIENT RESISTENCIA RODADORA, adimensional.

$$\mu_r = \mu_{r0} + v_f \cdot \mu_{rv}^n$$

On:

- μ_{r0} : coeficient rodadora inicial, adimensional.
- v_f : velocitat final, m/s.
- n : valor empíric en funció del terreny, entre 2 i 2.5.

5.1.2.2. RESISTENCIA GRAVITATORIA.

$$R_G = m \cdot g \cdot \sin(\tan^{-1}(\%)) = N$$

On:

- m : massa exposada a la força resistent, kg.
- g : acceleració de la gravetat, m/s^2 .
- %: percentatge del pendent, %.

5.1.2.3. RESISTENCIA AERODINAMICA.

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot f \cdot (v_f - v_0)^2 = N$$

On:

- ρ : densitat dl aire kg/m^3 .
- C_x : coeficient resistència aerodinàmica, adimensional.
- S : superfície vertical, m^2 .
- F : coeficient factor de forma, adimensional.
- v : velocitat, m/s.
- V_0 : velocitat del vent, m/s.

5.1.2.4. RESISTENCIA TOTAL.

$$R_T = R_R + R_G + R_A = N$$

On:

- R_R : resistència rodadora, N.
- R_G : resistència gravitatòria, N.
- R_A : resistència aerodinàmica, N.

5.1.3. ESTUDI ENERGETIC DEL CIRCUIT.

5.1.3.1. TREBALL

$$W = W_{força} - W_{pes} - W_{freg} = J$$

On:

- $W_{força}$: treball força, J.
- W_{pes} : treball pes, J.
- W_{freg} : treball fregament, J.

5.1.3.1.1. TREBALL FORÇA

$$W = R_T \cdot (x_f - x_i) = J$$

On:

- R_T : resistència total, N.
- x_f : posició final, m.
- x_i : posició inicial, m.

5.1.3.1.2. TREBALL PES

$$W = m \cdot g \cdot (x_f - x_i) \cdot \cos(\tan^{-1}(\%)) = J$$

On:

- m : massa, kg.
- g : acceleració de la gravetat, m/s^2 .
- x_f : posició final, m.
- x_i : posició inicial, m.
- $\%$: percentatge del pendent, %.

5.1.3.1.3. TREBALL FREEGAMENT.

$$W_{freg} = \mu_f \cdot m \cdot g \cdot (x_f - x_i) \cdot \cos(\tan^{-1}(\%)) = J$$

On:

- μ_f : coeficient fregament, adimensional.
- m : massa, kg.
- g : acceleració de la gravetat, m/s^2 .
- x_f : posició final, m.
- x_i : posició inicial, m.
- $\%$: percentatge del pendent, %.

❖ COEFICIENT RESISTENCIA RODADORA, adimensional.

$$\mu_r = \mu_{r0} + v_f \cdot \mu_{rv}^n$$

On:

- μ_{r0} : coeficient rodadora inicial, adimensional.
- v_f : velocitat final, m/s.
- n : valor empíric en funció del terreny, entre 2 i 2.5.

5.1.3.2. ENERGIA POTENCIAL.

$$E_p = m \cdot g \cdot (h_f - h_i) = J$$

On:

- m: massa, kg.
- g: acceleració de la gravetat, m/s².
- h_f: altura final, m.
- h_i: altura inicial, m.

5.1.3.3. ENERGIA CINETICA.

$$E_c = E_{CR} + E_{CT} = J$$

On:

- E_{CR}: energia cinètica de rotació, J.
- E_{CT}: energia cinètica de translació J.

5.1.3.3.1. ENERGIA CINETICA DE ROTACIÓ.

$$E_{CR} = \frac{1}{4} \cdot m \cdot g \cdot \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 \cdot \left(\left(\frac{v_f}{\frac{\emptyset}{2}}\right)^2 - \left(\frac{v_i}{\frac{\emptyset}{2}}\right)^2 \right) = J$$

On:

- m: massa cos rodadora, kg.
- g: acceleració de la gravetat, m/s².
- \emptyset : diàmetre cos rodadora, m
- v_f: velocitat final, m/s.
- v_i: velocitat inicial, m/s.

5.1.3.3.2. ENERGIA CINETICA DE TRANSLACIÓ.

$$E_{CT} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_f^2 - v_i^2) = J$$

On:

- m: massa cos translació, kg.
- v_f: velocitat final, m.
- v_i: velocitat inicial, m.

5.1.3.4. BALANÇ ENERGIES.

$$E = (W + E_p + E_c) \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = kWh$$

On:

- W: treball pes, J.
- W_{freg}: treball fregament, J.
- E_p: energia potencial, J.
- E_{CR}: energia cinètica rotació, J.
- E_{CT}: energia cinètica translació, J.

5.1.4. CONCLUSIONS

A continuació es pot veure un gràfic amb el resultat final del càlcul de energia del circuit de MotorLand Aragó. En el gràfic estan representats tots els trams del circuit, de manera que es pot saber els trams que requeriran un major consum de energia.

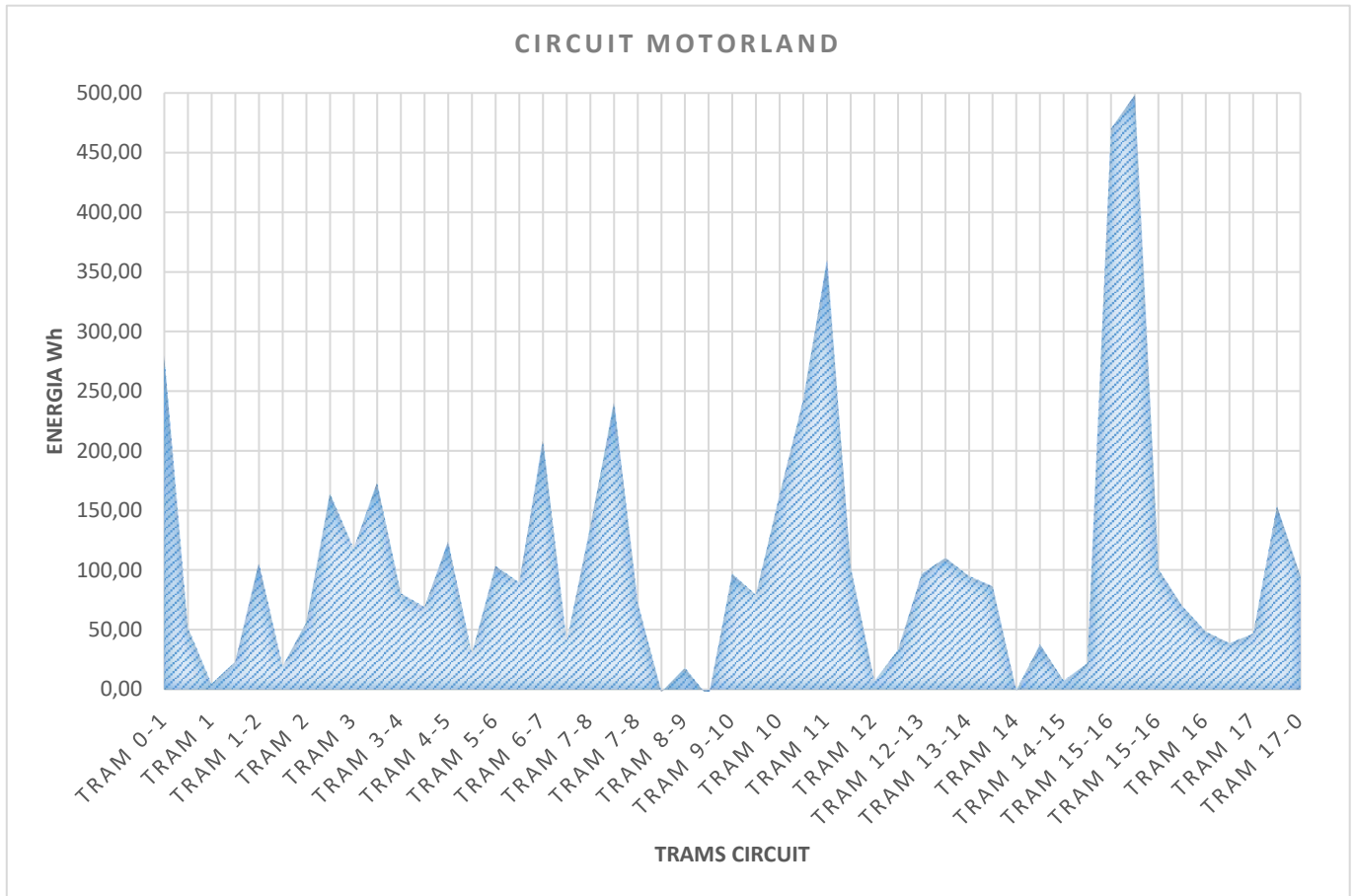


Figura 54. Gràfic d'energia tram a tram del circuit de MotorLand Aragó.

La energia total necessària per realitzar el circuit de MotorLand Aragó es de 5270'6 Wh. Per tant, tenint en compte el rendiment de cada equip, es pot saber la energia que haurà de ser capaç de emmagatzemar la bateria.

$$E_{Bat} = E_{Circuit} \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Controlador} \cdot Perdues_{cdt} \cdot \eta_{Transmissió} = Wh$$

$$E_{Bat} = 5270'62 \cdot \frac{90}{100} \cdot \frac{95}{100} \cdot \frac{(100 - 10)}{100} \cdot \frac{95}{100} = 7209'9 Wh = 7'21 kWh$$

5.2. CONFIGURACIÓ BATERIA

Després d' una exhaustiva comparativa entre cel·les, adjunta com annex 4 comparativa de cel·les, finalment la cel·la escollida per fabricar el paquet de bateries es de la marca Sony, en concret el model US18650VTC6, es una cel·la de format cilíndric d' alta capacitat de descarrega. Els motius pels quals s'ha escollit aquesta cel·la es per la seva alta densitat energètica, baixa resistència interna, baix pes i preu molt ajustat al ser un model molt comú en diferents aparells d' avui en dia, a continuació es pot veure un resum de les característiques tècniques de la cel·la segons el fabricant:

Marca	SONY	
Model	VTC6	
Química	Liti-NiMnCo	
Format	Cilíndric 18650	
Diàmetre	18,5	mm
Longitud	65,2	mm
Tensió màxima	4,2	VDC
Tensió nominal	3,6	VDC
Tensió mínima	2,5	VDC
Capacitat nominal	3,12	Ah
C-Nominal	1	C
Descarrega Continua	15	A
C-Continua	5	C
Descarrega pic (<40 seg.)	30	A
C-Pic (<40 seg.)	10	C
Densitat energètica	631	Wh/l
Impedància interna	8 < 18	mΩ
Impedància interna mitjana	13	mΩ
Pes	46,6	g
Preu unitat	2'8	€

Taula 4. Resum característiques tècniques de la cel·la.

Tot i disposar de les característiques tècniques del fabricant, hi ha molta informació que només es pot saber a partir d' assajos, es per això que s'ha buscat assajos practicats sobre el model de cel·la escollit.

Es per això que s' ha tret profit dels assajos publicats a la pagina <https://lygte-info.dk/> on pot trobar assajos sobre pràcticament tots els models de cel·les cilíndriques. La qual ha sigut una font de consulta molt important.

5.2.1. TEST TEMPS DE DESCARREGA

A continuació es pot veure un assaig practicat sobre el model de cel·la escollit, on es veu el temps que tarda en descarregar-se en funció del consum de corrent de la carrega.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

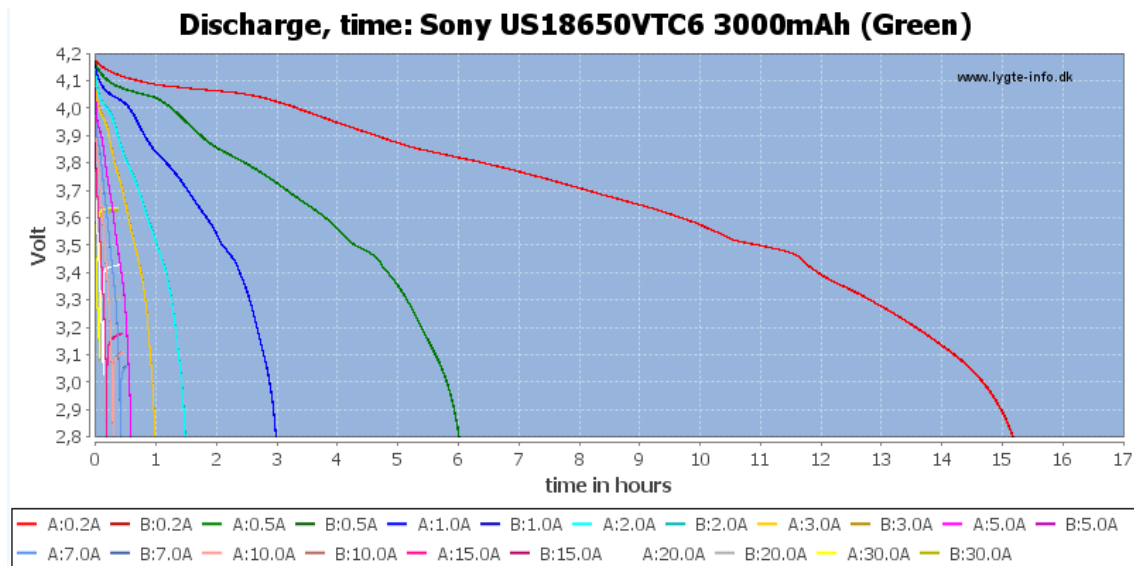


Figura 55. Gràfic test temps descarrega.

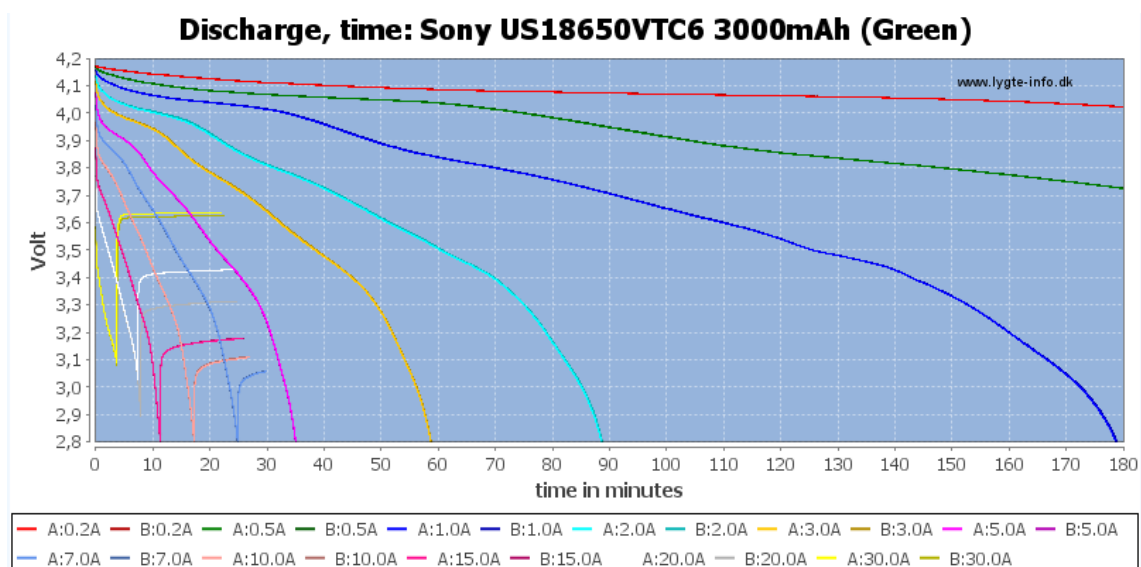


Figura 56. Detall gràfic test temps descarrega.

A partir d' aquest assaig es pot veure que el consum de corrent mitja per cel·la hauria de ser com a màxim de 7 A, ja que amb aquest consum de corrent la cel·la es descarregarà en uns 25 minuts i com s' ha vist anteriorment al capítol 2 apartat 1 la durada de la carrera es de 21 minuts.

5.2.2. TEST DE CAPACITAT DE DESCARREGA A 7 AMPERS

En el test de temps de descarrega s' ha vist que es interessant que les cel·les treballin a una mitja de 7A per tal que la seva càrrega duri 25 minuts, per tant es considera la corba de capacitat de descarrega de 7A per saber els valors màxims i mínims per cel·la de tensió i capacitat.

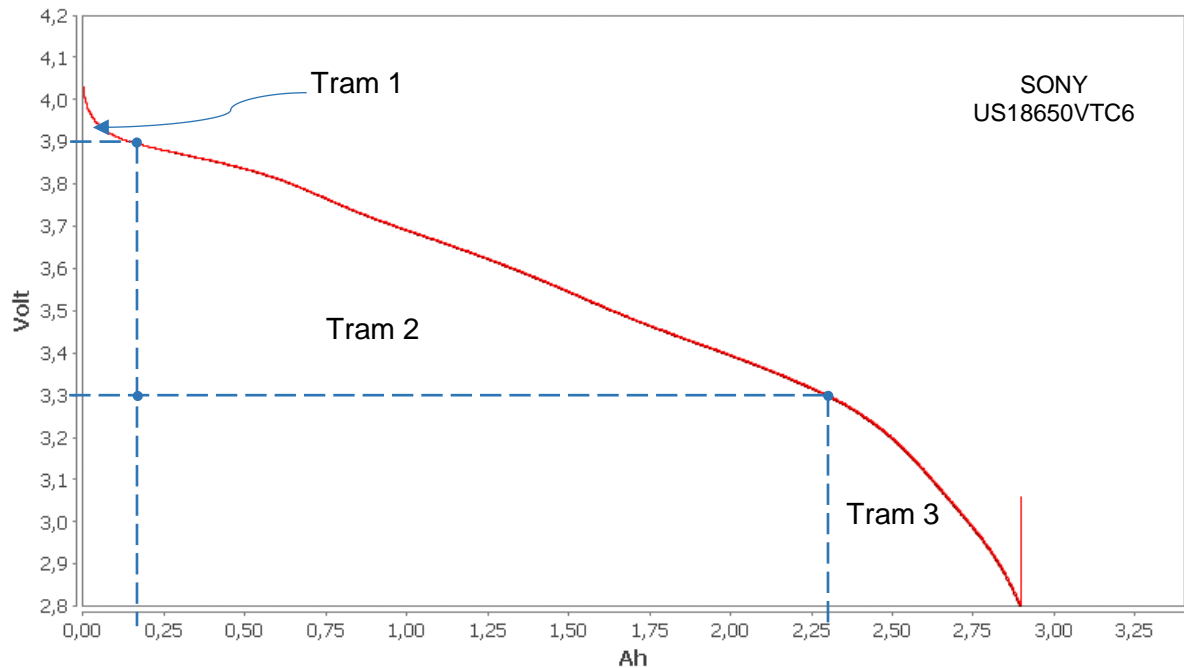


Figura 57. Gràfic corba capacitat de descarrega a 7A, SONY VTC6.

A la figura anterior de la corba de descarrega de 7A es pot veure que la corba té tres trams diferenciats, cadascun dels trams descarrega una part de l' energia de la cel·la que es pot calcular integrant la funció de la corba de descarrega de 7A entre els intervals de tensió i capacitat.

$$E_{cel\cdot la} = \int_{u_{min}}^{u_{max}} \int_{c_{min}}^{c_{max}} f(u, i) \cdot du \cdot dc$$

- Un primer tram on la cel·la es descarrega molt ràpidament i passa de 4,2 VDC a quasi 3,9 VDC. Aquest és un tram delicat ja que proporciona molt poca capacitat i la cel·la es descarrega 0,3 VDC en molt poc temps.
- Un segon tram que es pot considerar pràcticament lineal que representa gairebé tota la corba de descarrega que va des de 3,9 VDC a 3,3 VDC. Aquest és el tram més important ja que es quan proporciona la major quantitat de capacitat, per tant s' intentarà aprofitar al 100%.
- Un tercer tram que igual que el primer es descarrega molt ràpidament i va de 3,3 VDC a 2,8 VDC. A diferència del primer tram, aquest proporciona més capacitat.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

Es molt interessant que la cel·la treballi sobre la part lineal de la corba de descarrega, es a dir sobre el tram 2, evitant així els trams de la corba on la cel·la es descarrega mes ràpidament i on no s' aprofita de la mateixa manera l' energia que proporciona la cel·la.

5.2.2.1. CONFIGURACIÓ DE CEL·LES EN SÈRIE

5.2.2.1.1. TENSIO MÀXIMA

Es pot veure que la corba te un pic dels 4,2 VDC als 3.9 VDC aproximadament, i a partir d'aquest pic la corba s'estabilitza i comença a ser aproximadament lineal. Per tant es considerarà els 3.9 VDC com a valor màxim de tensió per cel·la.

Al capítol 6 apartat 2 de condicions tècniques s' ha definit la tensió màxima segons diferents requisits, en base això, com a tensió màxima es tindrà en compte la del controlador, 120 VDC. El controlador es el component d' enllaç entre la bateria i el motor i no es vol que treballi a mes tensió de la que pot suportar.

$$s = \frac{U_{Bat}}{U_{cel\cdot la}} = \frac{120}{3'9} = 30.8 \text{ cel} \cdot \text{les} \rightarrow \begin{cases} \text{Opció A: 30 cel} \cdot \text{les en serie} \\ \text{Opció B: 31 cel} \cdot \text{les en serie} \end{cases}$$

- Amb la opció A de 31 cel·les en sèrie queda una tensió màxima de cel·la de:

$$U_{max \text{ cel} \cdot \text{la}} = \frac{U_{Bat}}{s} = \frac{120}{31} = 3'8710 \text{ VDC} \rightarrow 3'871 \text{ VDC}$$

El que correspon a una tensió màxima de bateria de:

$$U_{Bat \text{ max}} = U_{max \text{ cel} \cdot \text{la}} \cdot s = 3'8709 \cdot 31 = 119'998 \text{ VDC}$$

- Amb la opció B de 30 cel·les en sèrie queda una tensió màxima de cel·la de:

$$U_{max \text{ cel} \cdot \text{la}} = \frac{U_{Bat}}{s} = \frac{120}{30} = 4 \text{ VDC} \rightarrow 3'999 \text{ VDC}$$

El que correspon a una tensió màxima de bateria de:

$$U_{Bat \text{ max}} = U_{max \text{ cel} \cdot \text{la}} \cdot s = 3'9999 \cdot 30 = 119'997 \text{ VDC}$$

**Ambdues opcions s' arrodoneix a la dècima part de mili volt inferior per que es la resolució de mesura i balanceig que te el BMS, i així s'evitarà sobrepassar els 120 VDC màxims del controlador.*

5.2.2.1.2. TENSIO MÍNIMA

Al capítol 6 apartat 2 de condicions tècniques s' ha definit la tensió mínima segons diferents requisits. En base això, com a tensió mínima es tindrà en compte la tensió mínima del motor, 96 VDC, per evitar que el controlador consumeixi menys tensió de la que necessita el motor, evitant així que el controlador hagi de consumir mes corrent per entregar la potencia requerida pel motor.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

- Amb la opció A de 31 cel·les en sèrie queda una tensió mínima de cel·la de:

$$U_{min\ cel\cdot la} = \frac{U_{Bat}}{s} = \frac{96}{31} = 3'0968\ VDC$$

- Amb la opció B de 30 cel·les en sèrie queda una tensió mínima de cel·la de:

$$U_{min\ cel\cdot la} = \frac{U_{Bat}}{s} = \frac{96}{30} = 3'2000\ VDC$$

5.2.2.2. CONFIGURACIÓ DE CEL·LES EN PARAL·LEL

Ara que s' ha definit la tensió mínima i màxima, es mirarà la capacitat que proporciona cada cel·la amb aquests intervals de tensió.

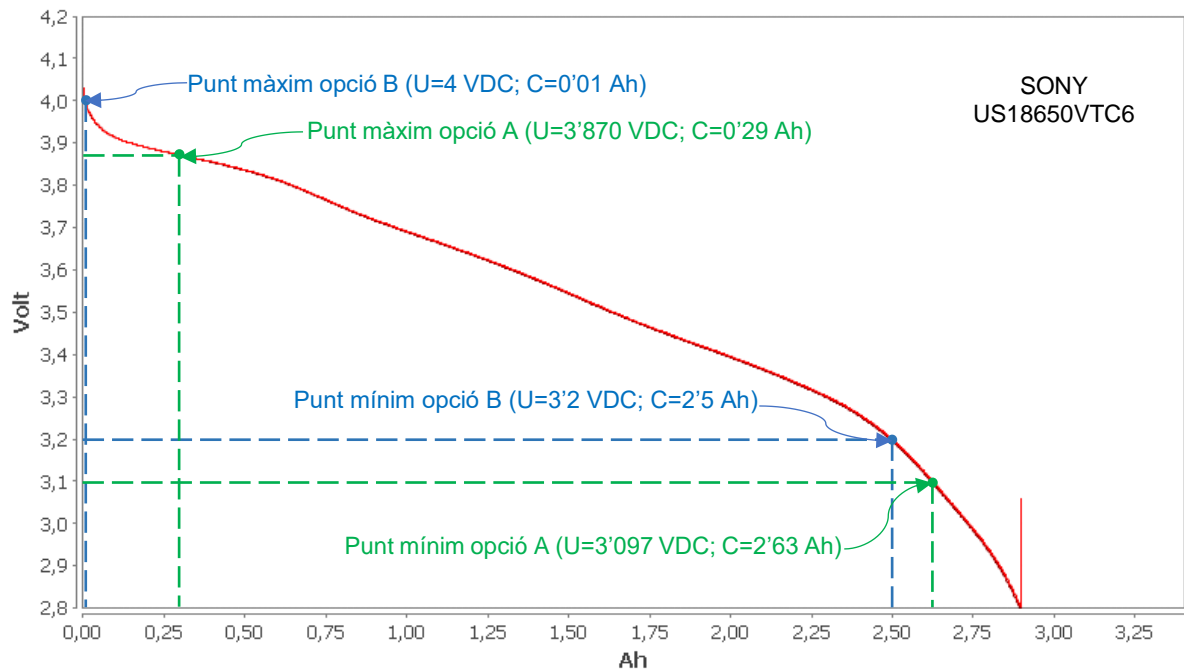


Figura 58. Gràfic corba capacitat de descàrrega amb límits.

- Capacitat per cel·la segons la opció A:

Per trobar la cota "y" del punt màxim de la opció A, es te coma a referencia els 4 VDC, que correspon a una cota y=6'7 mm.

$$y_{Punt\ max\ opció\ A} = \frac{U_{max\ cel\cdot la\ opció\ A} - 2'8}{U_{max\ cel\cdot la\ opció\ B} - 2'8} \cdot y_{Punt\ max\ opció\ B} = \frac{3'870 - 2'8}{4 - 2'8} \cdot 6'7 = 5'97mm$$

Per trobar la cota "y" del punt mínim de la opció A, es te coma a referencia els 3'2 VDC, que correspon a una cota y=2'22 mm.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

$$y_{Punt\ min\ opció\ A} = \frac{U_{min\ cel\cdot la\ opció\ A} - 2'8}{U_{min\ cel\cdot la\ opció\ B} - 2'8} \cdot y_{Punt\ min\ opció\ B} = \frac{3'097 - 2'8}{3'2 - 2'8} \cdot 2'22 = 1'65mm$$

Per trobar la capacitat del punt màxim i mínim de la opció A, es te coma a referencia els 2'5 Ah, que correspon a una cota x=10'7 mm.

$$C_{Punt\ max\ opció\ A} = \frac{x_{Punt\ max\ opció\ A}}{x_{Punt\ min\ opció\ B}} \cdot C_{Punt\ min\ opció\ B} = \frac{1'27}{10'7} \cdot 2'5 = 0'297\ Ah$$

$$C_{Punt\ min\ opció\ A} = \frac{x_{Punt\ min\ opció\ A}}{x_{Punt\ min\ opció\ B}} \cdot C_{Punt\ min\ opció\ B} = \frac{11'24}{10'7} \cdot 2'5 = 2'626\ Ah$$

$$C_{opció\ A} = 2'626 - 0'297 = 2'329\ Ah$$

- Capacitat per cel·la segons la opció B:

Per trobar la capacitat del punt màxim de la opció B, es te coma a referencia els 2'5 Ah, que correspon a una cota x=10'7 mm.

$$C_{Punt\ max\ opció\ B} = \frac{x_{Punt\ max\ opció\ B}}{x_{Punt\ min\ opció\ B}} \cdot C_{Punt\ min\ opció\ B} = \frac{0'05}{10'7} \cdot 2'5 = 0'012\ Ah$$

$$C_{opció\ B} = 2'5 - 0'012 = 2'488\ Ah$$

5.2.2.2.1. CRITERI INTENSITAT DE CORRENT MIG

Al capítol 6 apartat 2 s' ha vist que la bateria ha de ser capaç de proporcionar una intensitat de corrent de forma constant de 139 A, i com no es vol que les cel·les treballin a mes de 7A de mitja de intensitat de corrent:

$$p = \frac{I_{Bat}}{I_{cel\cdot la}} = \frac{139}{7} = 19'8\ cel \cdot les \rightarrow 20\ cel \cdot les\ en\ paral \cdot lel$$

5.2.2.2.2. CRITERI INTENSITAT DE CORRENT DE PIC

Al capítol 6 apartat 2 s' ha vist que la bateria ha de ser capaç de proporcionar una intensitat de corrent de pic de 690 A, i de la mateixa manera com no es vol que les cel·les treballin a mes de 30A de intensitat de corrent de pic:

$$p = \frac{I_{Bat}}{I_{cel\cdot la}} = \frac{690}{30} = 23\ cel \cdot les\ en\ paral \cdot lel$$

5.2.2.2.3. CRITERI CAPACITAT

Al capítol 5 apartat 1 s' ha vist que la bateria ha de ser capaç d'emmagatzemar una energia de 7209'9 Wh, de la mateixa manera al capítol 5 apartat 2 s' ha vist que la tensió

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

màxima de la bateria serà de pocs mili volts per sota dels 120 VDC. Es molt important que la bateria complexi amb el requisit de capacitat, perquè es el paràmetre que assegura que la bateria pot emmagatzemar la quantitat de energia suficient per la tensió de treball.

$$C_{Bat} = \frac{E_{Bat}}{U_{Bat}} \cdot \frac{7209'9}{120} = 60'083 \text{ Ah}$$

- Amb la opció A de 31 cel·les en sèrie la cel·la proporciona una capacitat de 2'35Ah, per tant:

$$p = \frac{C_{Bat}}{C_{cel\cdot la}} = \frac{60'083}{2'329} = 25'8 \text{ cel} \cdot \text{les} \rightarrow 26 \text{ cel} \cdot \text{les en paral} \cdot \text{lel}$$

- Amb la opció B de 30 cel·les en sèrie la cel·la proporciona una capacitat de 2'45Ah, per tant:

$$p = \frac{C_{Bat}}{C_{cel\cdot la}} = \frac{60'083}{2'488} = 24'2 \text{ cel} \cdot \text{les} \rightarrow 25 \text{ cel} \cdot \text{les en paral} \cdot \text{lel}$$

5.2.2.2.4. CRITERI RESISTÈNCIA INTERNA DE LA BATERIA.

La resistència interna de la bateria es una característica molt important, per diferents motius. El primer es perquè afecta directament a la caiguda de tensió i a les pèrdues per efecte joule de la bateria, si la resistència es alta es descarregarà mes ràpid i agafarà mes temperatura. El segon motiu es que es interesant que la resistència interna del paquet de bateria es trobi dintre dels valors màxim i mínim de resistència interna de la cel·la que proporciona el fabricant, d'aquesta manera la bateria tindrà un comportament molt igual al de la cel·la en quant a descarrega i capacitat.

- Amb la opció A de 31 cel·les en sèrie i 26 cel·les en paral·lel, queda una resistència interna total de la bateria de:

$$r_{Bat} = r_{cel\cdot la} \cdot \frac{s}{p} = 0'013 \cdot \frac{31}{26} = 0'0155 \Omega = 15'5 \text{ m}\Omega$$

- Amb la opció B de 30 cel·les en sèrie i 25 cel·les en paral·lel, queda una resistència interna total de la bateria de:

$$r_{Bat} = r_{cel\cdot la} \cdot \frac{s}{p} = 0'013 \cdot \frac{30}{25} = 0'0156 \Omega = 15'6 \text{ m}\Omega$$

En totes dues opcions la resistència interna de la bateria es troba dintre dels valors mínim i màxim de resistència interna de cel·la.

$$\text{Opció A} \rightarrow 8 \text{ m}\Omega < 15'5 \text{ m}\Omega < 18 \text{ m}\Omega$$

$$\text{Opció B} \rightarrow 8 \text{ m}\Omega < 15'6 \text{ m}\Omega < 18 \text{ m}\Omega$$

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

5.2.3. CONCLUSIONS

A continuació es compara les dos configuracions de bateria, on es pot veure que la opció B presenta unes millors prestacions.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNIQUES	OPCIÓ A	OPCIÓ B	UNITATS
Numero de cel·les en sèrie	31	30	Sèrie
Tensió màxima per cel·la	3'8709	3'9999	VDC
Tensió mínima per cel·la	3'0968	3'2001	VDC
Numero de cel·les en paral·lel	26	25	Paral·lel
Capacitat real per cel·la	2'329	2'488	Ah
Tensió màxima bateria	119'998	119'997	VDC
Tensió mínima bateria	96'0008	96'003	VDC
Capacitat real bateria	60'55	62'2	Ah
Energia màxima bateria	7'26	7'46	kWh
Resistència interna de la bateria	15'5	15'6	mΩ
Pes en cel·les de la bateria	37'56	34'95	kg

Taula 5. Comparativa opcions de configuració de la bateria.

Els dos únics factors desfavorables per a la opció B son la tensió amb una misèra diferencia de 1 mV i la resistència interna de la bateria, que tot i ser un paràmetre molt important perquè afecta directament a la caiguda de tensió i a les pèrdues per efecte joule de la bateria, es pràcticament inapreciable per la poca diferencia que hi ha entre les dos opcions, que es de 0'1 mΩ. El que equival a una diferencia de 52 mv per pic.

$$\Delta cdt_{pic} = (r_{Bat_{opció B}} - r_{Bat_{opció A}}) \cdot I_{Bat} = (0.0156 - 0.0155) \cdot 517'11 = 0'052 \text{ volts} = 52 \text{ mv}$$

Finalment amb la opció escollida, opció B, queda una bateria amb les següents característiques:

Química	Liti-NiMnCo	
Format	Cilíndric 18650	
Configuració bateria	30s25p	
Tensió nominal bateria	119'997	VDC
Capacitat nominal bateria	62'2	Ah
Energia nominal bateria	7'46	kWh
Autonomia	25	minuts
Resistència interna de la bateria	15'6	mΩ
Pes en cel·les de la bateria	34'95	kg

Taula 6. Característiques reals de la bateria.

Tensió nominal bateria	108	VDC
Capacitat nominal bateria	78	Ah
Energia nominal bateria	8'42	kWh
Autonomia	25	minuts
Resistència interna de la bateria	15'6	mΩ
Pes en cel·les de la bateria	34'95	kg

Taula 7. Característiques nominals de la bateria.

6. PLEC DE CONDICIONS

En aquest capítol s'exposa totes les clàusules i condicions que s'accepten al realitzar el projecte, tal com el reglament de la competició MotoStudent, requisits constructius del material proporcionat per la organització MotoStudent i controls de qualitat reflectits en el reglament de la competició MotoStudent. El prototip haurà de complir al 100% amb la normativa per poder competir, igual que també haurà de muntar el material d'ús obligatori proporcionat per la organització MotoStudent.

6.1. CONDICIONS LEGALS

En aquest primer apartat del capítol s' exposa el reglament de la competició MotoStudent que fa referencia a la bateria del prototip. Cal tenir en compte tots els aspectes del reglament ja que d' això dependrà que el prototip passi les verificacions administratives per a poder competir. També es important coneix-la be per tal de poder trobar les escletxes que puguin ajudar a definir una estratègia competitiva i que diferenciï al equip de la resta.

6.1.1. NORMATIVA MOTOSTUDENT APLICABLE A LA BATERIA

El reglament de la competició MotoStudent ens acotará de manera molt precisa els diferents sistemes de seguretat que s' hauran d'implementar en el prototip referent a la bateria, a demés de certes característiques constructives de la bateria i acumulador de bateries. Es molt important tenir-la en conte i complir cadascun dels seus aspectes, ja que si no es compleix algun d' ells la organització podrà desqualificar al equip per el incompliment de la normativa.

6.1.1.1. SECCIÓ D ARTICLE 1: DEFINICIONS I ASPECTES GENERALS

D.1.1 Alta Tensió (High Voltage - HV), Baixa Tensió (Low Voltage - LV), Volts de Corrent Contínua (Volts Direct Current - VDC).

Qualsevol circuit amb una diferència de potencial més gran que 40 VDC, formarà part del sistema d'Alta Tensió (HV) del prototip. Per sota d'aquesta tensió, serà considerat com a part del sistema de Baixa Tensió (LV).

D.1.1.1 La tensió màxima permesa del sistema HVS serà de 126 VDC.

D.1.1.2 Es permet l'ús d'elements programari per controlar la tensió màxima.

D.1.2 Sistema d'Alta Tensió (High Voltage System - HVS)

El sistema d'Alta Tensió (HVS) està format per totes les peces elèctriques que formen part del motor, controlador, acumulador o de qualsevol altra part elèctrica connectada a

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

ells. El sistema HVS serà un sistema d'Alta Tensió (HV) segons especifica l'Art. D.1.1 d'aquest Reglament.

D.1.2.1 El HVS ha d'estar aïllat elèctricament del xassís o massa del prototip.

D.1.2.2 L'acumulador del sistema HVS, es defineix com qualsevol cel·la, bateria o supercondensador (o conjunt d'ells), capaç d'emmagatzemar energia elèctrica per al sistema de propulsió elèctrica.

D.1.2.3 El HVS haurà intercalar un dispositiu controlador entre el motor i l'acumulador, de tal manera que no sigui possible la connexió directa entre motor i acumulador.

D.1.2.4 És obligatòria la inclusió d'etiquetes d'avís de perill clarament visibles en les carcasses o zones properes als components que treballin amb Alta Tensió (HV), en què s'inclouï el text "HIGH VOLTAGE".



Figura 59. Etiqueta avis alta tensió.

D.1.2.5 S'ha d'instal·lar un display en el quadre d'instruments que indiqui en tot moment la tensió entre borns del sistema HVS. El Cos Tècnic de l'Organització podrà realitzar mesuraments aleatòries per comprovar si el valor mostrat en la pantalla es correspon amb el valor real de la tensió del HVS.

D.1.3 Sistema de Baixa Tensió LV connectat a massa (Ground Low Voltage System - GLVS)

El sistema LV connectat a massa (GLVS) està format per qualsevol circuit o part elèctrica del prototip (xassís) i que per tant no forma part del HVS.

D.1.3.1 El GLVS haurà de ser un sistema LV, és a dir, d'una tensió inferior a 40 VDC.

D.1.4 Aïllament entre HVS i GLVS

D.1.4.1 El HVS i el sistema GLVS estaran aïllats galvànicaament.

D.1.4.2 En el cas d'ús d'un convertidor DC / DC, aquest ha de complir amb aquesta especificació.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

6.1.1.2. SECCIÓ D ARTICLE 3: EMMAGATZEMATGE D'ENERGIA

D.3.1 Sistemes d'acumulació permesos

Es permetran com a sistemes d'acumulació d'energia qualsevol tipus de bateria, exceptuant les bateries de sal fosa (bateries tèrmiques) i les piles de combustible.

D.3.1.1 Es permet l'ús de supercondensadors.

D.3.1.2 La tensió subministrada per les bateries serà d'un màxim de 126 VDC, tal com descriu el Art.D.1.1.

D.3.1.3 S'haurà de presentar a l'Organització l'esquema de connexió utilitzat (cel·les en sèrie i en paral·lel).

D.3.2 Contenidor de bateries

Totes les cel·les de bateria i supercondensadors que formin part de l'acumulador, hauran d'instal·lar a l'interior d'un contenidor o càrter de bateries.

D.3.2.1 Es permet l'ús de diversos contenidors de bateries. Cada un d'ells ha de complir les prescripcions exigides per al cas de contenidor de bateries únic.

D.3.2.2 Si el contenidor de bateries no és fàcilment accessible, l'Organització podrà requerir en qualsevol moment fotografies de la disposició i muntatge d'aquest.

D.3.2.3 Serà obligatori el lliurament d'una descripció detallada del sistema d'acumulació, abans de procedir al seu muntatge. Així mateix, també serà obligatori el lliurament de fotografies de les diferents fases del muntatge del mateix, mostrant la totalitat dels components utilitzats. L'incompliment d'algun d'aquests dos requisits podrà implicar l'exclusió del prototip per a la Fase MS2 de la Competició. (Veure Art.D.13.1.1)

D.3.3 Configuració elèctrica de l'acumulador

D.3.3.1 Si el contenidor està fabricat en un material conductor de l'electricitat, els borns de les cel·les o supercondensadors hauran d'estar correctament protegits i aïllats amb un material elèctricament aïllant.

D.3.3.2 Si el contenidor està fabricat en un material conductor de l'electricitat (metalls, fibra de carboni, etc.), el cos de les cel·les no podrà estar directament en contacte amb la paret interior del càrter, havent de col·locar un material aïllant. Les cel·les prismàtiques de carcassa rígida aïllant queden excloses d'aquesta prescripció.

D.3.3.3 Cada contenidor haurà d'incloure en el seu interior com a mínim un fusible, la intensitat nominal estigui per sota del límit de tall del contactor.

D.3.3.4 Cada contenidor ha d'incloure, almenys, un contactor de línia de tipus normalment obert, instal·lat al born positiu de l'acumulador.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.3.3.5 El tancament del contactor de línia, i per tant la presència d'Alta Tensió (HV) a la sortida de l'acumulador, ha de quedar senyalitzat a través d'un senyal lluminosa de color vermell ubicada al dashboard, segons les pautes indicades en l'Art. D.10.1.1.

D.3.3.6 No es permet la unió directa entre borns de cel·les per mitjà de soldadura. Sí que es permet la soldadura indirecta a través d'un material conductor (plaques, plaques, cables, fil fusible). Sí que es permet la soldadura dels conductors del BMS als borns. En el cas de les cel·les tipus "pouch" sí que es permet la soldadura directa entre els seus platines, en cas de disposar-ne.

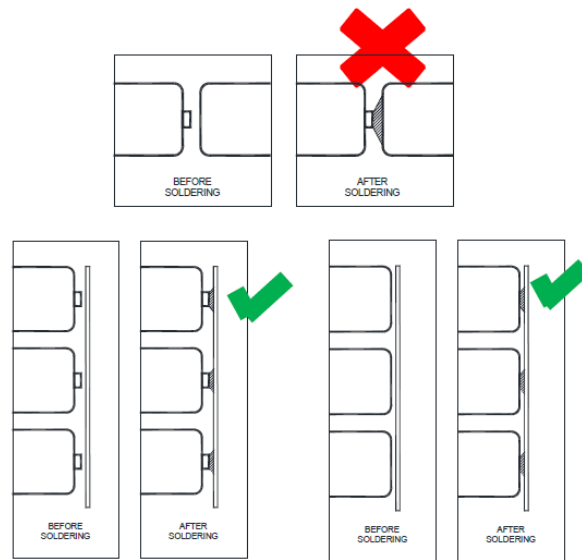


Figura 60. Exemple connexió entre cel·les.

D.3.4 Configuració mecànica de l'acumulador

D.3.4.1 Els contenidors de bateries hauran de construir a partir d'un material mecànicament resistent i instal·lar-se ancorats correctament al xassís.

D.3.4.2 El contenidor de bateries podrà formar part del xassís del prototip, sempre que compleixi amb les condicions de rigidesa i resistència apropiades per a això.

D.3.4.3 Els contenidors de bateries que no formin part del xassís hauran d'estar protegits contra impactes laterals pel mateix xassís del prototip.

D.3.4.4 Les cel·les han d'estar apropiadament protegides i fixades davant de qualsevol desplaçament relatiu (horitzontal i vertical) a l'interior del contenidor.

D.3.4.5 Únicament es permeten orificis de comunicació entre l'interior i l'exterior del contenidor per al pas dels cables conductors correctament aïllats i per a la refrigeració i ventilació.

D.3.4.6 Les obertures de ventilació no podran ocupar un lateral complet del contenidor.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.3.4.7 Les obertures de ventilació han d'incloure algun tipus d'element filtrant, per evitar la possible entrada de pols, partícules i líquids a l'interior del contenidor.

D.3.4.8 Si un contenidor estigués completament segellat de manera estanca, s'haurà d'incloure una vàlvula d'escapament per impedir que la concentració de gasos abast una pressió crítica.

D.3.4.9 Es permet l'ús o adaptació de contenidors o càrter comercials, sempre que compleixin amb les característiques imposades en el present article.

D.3.5 Sistema de Gestió de Bateries (Battery Management System - BMS)

D.3.5.1 És obligatòria la instal·lació d'un sistema de gestió de bateries (BMS).

D.3.5.2 El BMS haurà de llegir la tensió de cada cel·la, per mantenir les cel·les dins dels límits de tensió indicats pel fabricant.

D.3.5.3 El sistema BMS haurà de llegir la temperatura de les cel·les en el seu punt més calent a través d'un sensor de temperatura compatible. Serà obligatori llegir la temperatura de, com a menys, 4 cel·les instal·lades, sent almenys dues d'elles, les corresponents a les zones que es preveu que s'assoleixin temperatures més altes.

D.3.5.4 En el cas d'utilització d'un sistema passiu de balanceig o equilibrat de cel·les (no obligatori), s'han d'utilitzar resistències capaces de dissipar l'energia corresponent al balanceig de tal manera que, durant el període de balanceig, no se superi mai la temperatura indicada pel fabricant de la resistència (o del BMS) i que no afecti les cel·les de bateria o circuits impresos propers.

D.3.5.5 Per millorar la velocitat de balanceig, es permet l'activació de la refrigeració artificial del contenidor de bateries durant el procés de balanceig.

D.3.5.6 El sistema BMS haurà de desactivar la tracció del vehicle en el cas de descarregar-se la tensió d'una de les cel·les fins a la tensió mínima crítica o superar-se la temperatura màxima crítica de la cel·la, segons els valors indicats pel fabricant. Aquesta desactivació obligatòria haurà de ser puntual amb l'obertura del contactor de l'acumulador de bateries. (Veure esquema de l'Art. D.6.1.2).

D.3.5.7 A part de les condicions exposades en l'Art. D.3.5.6, es permet limitar progressivament la potència elèctrica lliurada al motor fins a ser igual a zero en el punt de tensió crític de la cel·la o temperatura màxima de la cel .

D.3.5.8 El sistema BMS haurà així mateix desactivar el sistema de recàrrega quan es superin els nivells màxims de tensió o temperatura de cel·la. Aquesta desactivació podrà ser progressiva i / o puntual.

6.1.1.3. SECCIÓ D ARTICLE 5: GENERALITATS DEL SISTEMA D'ALTA TENSÍO (HVS)

D.5.1 Separació del HVS i GLVS

Disseny d'una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.5.1.1 Els sistemes HVS i GLVS han d'estar separats físicament.

D.5.1.2 No podrà haver cap contacte entre el HVS i el xassís del prototip o qualsevol part metàl·lica exposada a l'exterior.

D.5.1.3 Si alguna part o peça del HVS i del GLVS han d'estar junts a l'interior d'un contenidor, han de respectar la separació mínima indicada a la taula adjunta, llevat dels casos excepcionals descrits en l'Art. D.5.1.4 i Art. D.5.1.5:

Tensió HVS	Distància de separació
< 100 VDC	10 mm
≥ 100 VDC	20 mm

Taula 8. Separació mínima en funció de la tensió.

D.5.1.4 Les distàncies reflectides en l'Art. D.5.1.3 no seran d'aplicació obligatòria sempre que els components del HVS i GLVS estiguin separats per una barrera aïllant a la humitat, que compleixi un grau de resistència a la temperatura superior a 150 °C.

D.5.1.5 En el cas que certs components pertanyents al HVS i GLVS s'instal·lin en una mateixa placa base, es col·locaran en zones clarament diferenciades i marcades a aquest efecte sobre la placa. La separació entre ambdues serà d'almenys, 6,4 mm sobre superfície, 3,2 mm a través de l'aire i de 2 mm si estan sota recobriment (aquestes distàncies poden no respectar pel cas de optoacobladors la tensió nominal sigui igual o major que la tensió del HVS).

D.5.2 Posicionament del sistema HVS

Tots els components del sistema HVS han d'estar continguts dins d'una estructura reforçada que garanteixi la seva integritat davant d'un accident.

D.5.2.1 El xassís del prototip podrà ser considerat com a estructura protectora del sistema HVS, sempre que pel seu disseny i construcció protegeixi completament al sistema en cas d'accident i sempre que es compleixin les prescripcions indicades en l'Art. D.3.4.

D.5.3 Posada a massa

Totes les parts metàl·liques del prototip que puguin arribar a conduir l'electricitat per estar a menys de 100 mm de l'HVS o GLVS s'han de connectar a la massa del prototip.

D.5.4 Aïllament i cablejat

Tots els components del sistema HVS han d'estar degudament aïllats i protegits contra contactes directes.

Disseny d'una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.5.4.1 S'ha de garantir la protecció del sistema HVS, de tal manera que sigui impossible arribar a les connexions del HVS amb una sonda cilíndrica de 100 mm de longitud i 6 mm de diàmetre.

D.5.4.2 Les connexions del HVS han d'estar encapsulades per components aïllants.

D.5.4.3 Els cables o conductors pertanyents al sistema HVS hauran de ser de color taronja i no combustibles grau UL-94 V0, FAR25 o equivalent.

D.5.5 Circuit de precàrrega

És obligatòria la instal·lació d'un circuit de precàrrega abans que tanqui el contactor de l'acumulador.

D.5.5.1 El nivell mínim de precàrrega ha d'arribar a un 90% de la tensió real de l'acumulador, i / o 10V de màxima diferència de tensió entre borns.

D.5.5.2 En obrir-se el circuit de desconnexió descrit en el Art.D.6.1 s'ha d'obrir també el circuit de precàrrega, de tal manera que una nova maniobra d'activació d'aquest circuit de desconnexió, comporti sempre prèviament la maniobra de precàrrega.

D.5.6 Avís d'activació del HVS

S'instal·larà un avisador de llum vermella, que es mantindrà encès quan el HVS estigui activat, és a dir, quan el contactor de l'acumulador estigui tancat.

6.1.1.4. SECCIÓ D ARTICLE 6: SISTEMES I CIRCUITS DE DESCONNEXIÓ

D.6.1 Circuit de desconnexió del HVS

El circuit de desconnexió gestiona el tancament i obertura del contactor de línia.

D.6.1.1 El circuit de desconnexió constarà de, almenys:

- Un Interruptor General del Sistema de tracció (Tractive System Màster Switch - TSMS).
- Un interruptor d'emergència.
- Un vigilant d'aïllament (insulation monitoring device - IMD).
- El sistema de desconnexió gestionat pel BMS.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.6.1.2 El circuit de desconconnexió haurà d'atènyer a un dels següents esquemes:

Circuit de desconconnexió amb contactor controlat directament pel circuit de desconconnexió:

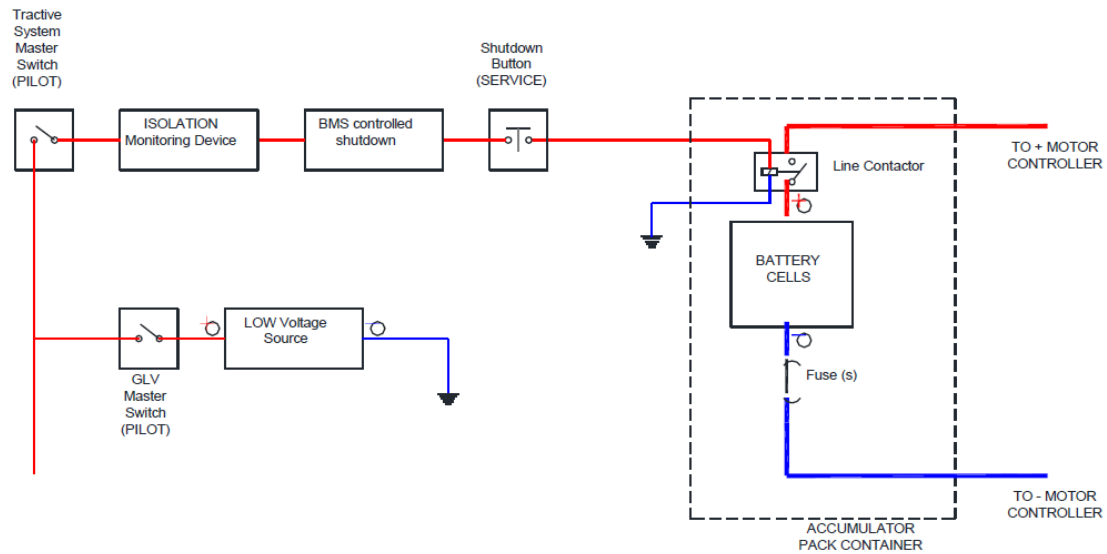


Figura 61. Contactor controlat directament pel circuit de desconconnexió.

Circuit de desconconnexió amb contactor controlat directament pel controlador:

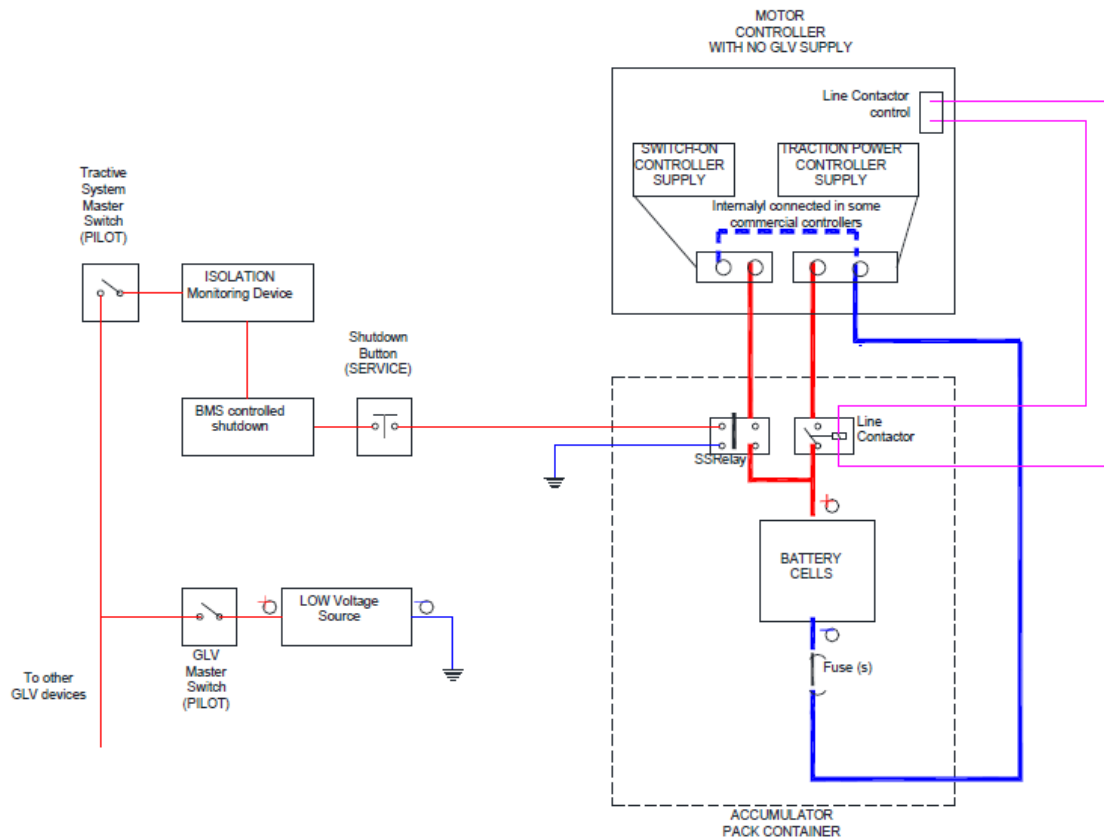


Figura 62. Contactor controlat directament pel controlador.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.6.1.3 En el cas que la bobina dels contactors de l'acumulador de bateries estigui controlada directament pel controlador motor (o per un altre dispositiu), llavors el circuit de desconexió ha de garantir l'apagat del controlador (o del corresponent dispositiu) i per tant el apagat de la bobina del contactor, quedant garantida la seva obertura, tal com es s'indica en l'esquema D.6.1.2.

D.6.1.4 Un cop obert el circuit de desconexió (contactor obert) per l'actuació de qualsevol dels dispositius previstos (TSMS, interruptor d'emergència, BMS o IMD) el sistema quedarà en estat "no llest per conduir", i serà necessari que el pilot ho reactivi manual i voluntàriament (pe reiniciant el controlador), abans que el circuit de desconexió torni a tancar-se.

D.6.2 Desconnexió del sistema GLVS

Per garantir l'encesa i apagada independent del sistema GLVS, haurà de col·locar-se un Interruptor General del sistema de Baixa Tensió (GLVS).

D.6.5 Dispositiu Vigilant de Aïllament (Insulation Monitoring Device - IMD)

L'Organització subministrarà dins el Kit MotoStudent un vigilant d'aïllament (IMD) BENDER per garantir el correcte aïllament elèctric entre el HVS i el xassís del prototip.

D.6.5.1 La instal·lació d'aquest Dispositiu Vigilant de Aïllament és obligatòria.

D.6.5.2 El correcte funcionament del Dispositiu Vigilant de Aïllament serà comprovat durant el Static Scrutineering, tal com s'indica en l'Art. E.5.1 del present Reglament.

6.1.1.5. SECCIÓ D ARTICLE 7: FUSIBLES

D.7.1 Fusibles HV

El circuit del costat HV haurà d'estar protegit per almenys un fusible, segons les condicions indicades en l'Art. D.3.3.3.

D.7.1.1 El corrent nominal del fusible estarà per sota del corrent de curtcircuit calculada, i pel damunt del corrent màxima de servei.

D.7.1.2 Si es col·loquen diverses bancades de cel·les en paral·lel, cadascuna d'aquestes bancades ha d'estar protegida amb el seu fusible independent.

D.7.1.3 El fusible o fusibles s'han d'instal·lar en l'interior del contenidor o càrter de bateries.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.7.2 Fusibles GLVS

Tots els circuits del costat GLVS hauran de tenir col·locat un fusible que protegeixi el conductor i el dispositiu al que alimenta, evitant que s'assoleixin els corrents màximes admissibles per aquests.

6.1.1.6. SECCIÓ D ARTICLE 8: RECÀRREGA D'ACUMULADORS

D.8.1 Carregadors

D.8.1.1 Es permeten tot tipus de carregadors la potència nominal dels sigui menor o igual de 22 kW nominals (màxim 32 ampers nominals en configuració trifàsica de costat xarxa).

D.8.1.2 Queden permeses les configuracions sèrie o paral·lel de diferents carregadors sempre que la suma total de les potències unitàries dels carregadors no superi la potència indicada en el Art.D.8.1.1.

D.8.1.3 El carregador haurà de comptar amb el seu corresponent conductor de massa correctament connectat a la carcassa del carregador.

D.8.2 Connexió a xarxa

La connexió a la xarxa podrà ser del tipus monofàsica (230 VAC, 50 Hz) o trifàsica (400 VAC, 50 Hz).

D.8.2.1 És obligatòria la connexió del conductor de massa a la base d'endoll.

D.8.3 Connexió al prototip

La connexió entre el carregador i el prototip ha de complir unes condicions mínimes de seguretat.

D.8.3.1 El connector de càrrega situat en el prototip ha de disposar d'un sistema de tancament manual o automàtic.

D.8.3.2 Els conductors del connector de recàrrega present en el prototip, hauran de quedar inaccessibles quan el connector estigui tancat.

D.8.3.3 El connector de càrrega del prototip haurà de complir un grau d'estanqueïtat IP-65 quan es trobi tancat.

D.8.3.4 El connector de càrrega s'ha de situar en una zona protegida del prototip davant de possibles caigudes, contactes o projeccions.

Disseny d'una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.8.4 Operació de recàrrega

El procés de recàrrega d'acumuladors s'ha de fer de manera segura.

D.8.4.1 Durant l'operació de recàrrega del prototip durant l'Esdeveniment final serà obligatòria la presència en tot moment d'almenys un membre de l'equip que conegui al detall la maniobra de recàrrega.

D.8.4.2 L'integrant de l'equip encarregat de l'operació de recàrrega ha d'estar preparat per afrontar qualsevol tipus d'actuació durant la recàrrega (desconnexió manual, desactivació, etc.) per aïllar el prototip de la xarxa davant de qualsevol eventualitat.

D.8.4.3 Un extintor d'incendis apte per a l'extinció del foc elèctric (agent extintor de CO₂ o similar) haurà de disposar-se a menys de 2 m del prototip durant la maniobra de recàrrega.

D.8.4.4 El sistema BMS haurà de comptar amb un dispositiu de control de recàrrega tal com es descriu en l'Art. D.3.5.

6.1.1.7. SECCIÓ D ARTICLE 9: INSTAL·LACIÓ GENERAL I CABLEJAT

D.9.1 Aïllament general

D.9.1.1 Tots els cables conductors i connectors han d'anar recoberts de material aïllant, a excepció de les connexions directes a massa.

D.9.1.2 Les zones, elements i sistemes amb alt risc elèctric han d'anar correctament protegides davant possibles contactes i manipulacions. Es recomana la instal·lació de carcasses rígides aïllants per a més protecció.

D.9.2 Dimensionat

D.9.2.1 Tots els cables conductors i connectors s'han de dimensionar correctament en base als nivells de corrent sol·licitats.

D.9.3 Protecció contra la humitat

D.9.3.1 S'haurà de procurar que els components del sistema de propulsió estiguin altament protegits contra la humitat. Es recomana un grau de protecció IP-65.

D.9.4 Cablejat

D.9.4.1 La longitud dels cables haurà de ser la justa, de manera que es prohibeix enrotllar la longitud de cable sobrant.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.9.4.2 S'haurà d'evitar, en la mesura del possible, el pas de la instal·lació elèctrica per possibles punts calents.

D.9.4.3 La instal·lació elèctrica haurà d'estar perfectament integrada en el conjunt del prototip, no deixant distàncies majors a 15cm de cablejat sense subjectar.

D.9.4.4 S'hauran de tenir en compte i evitar les possibles interferències que pugui presentar la instal·lació elèctrica amb qualsevol sistema mecànic del prototip, en tot el rang possible de geometries (durant tot el recorregut de direcció, suspensions, etc.).

6.1.1.8. SECCIÓ D ARTICLE 10.: CONTROL I COMANDAMENTS

D.10.1 Quadre d'instruments

El quadre d'instruments o Dashboard haurà de ser perfectament visible pel pilot en posició de pilotatge.

D.10.1.1 El quadre d'instruments ha d'incloure un avisador lluminós de color vermell, que haurà encendre quan el HVS estigui activat, tal com s'indica en l'Art. D.5.6.

D.10.1.2 El quadre d'instruments ha de tenir un display que indiqui en tot moment la tensió entre borns del sistema HVS, tal com indica l'Art. D.1.2.5.

D.10.2 Elements de control

El pilot haurà de ser capaç d'activar, reactivar o reiniciar per complet el sistema de propulsió elèctrica sense ajuda d'altres persones i sense necessitat de baixar-se del prototip, des de la posició estàndard de pilotatge.

D.10.3 Polsador d'emergència

El present article afecta bolet o bolets d'emergència per a la desconexió, descrita en l'Art. D.6.1 d'aquest Reglament.

D.10.3.1 El bolet d'emergència haurà d'instal·lar en un lloc protegit davant d'una caiguda o contacte accidental del pilot, però alhora accessible i reconeixible pels oficials esportius.

D.10.3.2 El bolet d'emergència no podrà instal·lar-se sobre cap component susceptible d'un desmuntatge ràpid, com ara el carenat. Preferiblement s'hauran d'instal·lar sobre suports fixats al xassís.

D.10.3.3 Si s'estima la instal·lació del bolet d'emergència a la zona lateral del prototip, s'hauran d'incloure llavors dos bolets, una a cada lateral.

D.10.3.4 El bolet o bolets d'emergència instal·lades hauran de ser de color vermell i accionament "prémer per obrir i girar per tancar", com es descriu en l'Art. D.6.3.1.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

6.1.1.9. SECCIÓ D ARTICLE 11: SISTEMA DE TRANSMISSIÓ

D.11.1 Tipus de transmissió

El sistema de transmissió emprat per a la Categoria "MotoStudent Electric" és de configuració lliure.

D.11.1.1 Es permet qualsevol tipus de sistema de transmissió primària: caixa de canvis, variador CVT, etc.

D.11.1.2 Es permet la transmissió directa entre l'eix de sortida del motor i la roda del darrere.

D.11.1.3 No hi ha limitacions pel que fa a la instal·lació d'elements d'embragatge entre components del sistema de transmissió.

D.11.2 Transmissió secundària

D.11.2.1 No hi ha limitació pel que fa al tipus de transmissió secundària utilitzat: per cadena, corretja, etc.

D.11.2.2 Qualsevol element de la transmissió susceptible de possibles atrapaments per al pilot haurà d'anar cobert amb una carcassa rígida.

6.1.1.10. SECCIÓ D ARTICLE 12: SISTEMA DE REFRIGERACIÓ

D.12.1 Generalitats dels sistemes de refrigeració

D.12.1.1 El disseny del sistema de refrigeració dels diferents components és de configuració lliure.

D.12.1.2 Es permet la refrigeració de components tant per aire com per sistemes de refrigeració líquida.

D.12.2 Sistemes de refrigeració per aire

D.12.2.1 Es permet la refrigeració per conducció aerodinàmica de l'aire.

D.12.2.2 Es permet la refrigeració per aire forçada mitjançant ventiladors o altres mètodes d'impulsió o extracció d'aire.

D.12.3 Sistemes de refrigeració líquida

D.12.3.1 Només es podrà utilitzar aigua destil·lada com a líquid refrigerant.

D.12.3.2 Està prohibida la utilització d'additius a l'aigua destil·lada.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.12.3.3 El nombre, la situació, la mida i la composició dels radiadors de líquid refrigerant són lliures, sempre que compleixin amb els requeriments dimensionals de les cotes generals del prototip.

D.12.3.4 Es permet l'ús d'un sistema de refrigeració líquida del motor mitjançant l'ús de carcasses externes, sempre que aquestes no modifiquin al motor i siguin fàcilment desmuntables. En cap cas la carcassa cobrirà parcialment o totalment els precintes i / o etiquetes de l'Organització.

6.1.1.11. SECCIÓ D ARTICLE 13: DOCUMENTACIÓ DEL PROTOTIP

D.13.1 Documentació a presentar

L'Organització requerirà als equips de la Categoria MotoStudent Electric, al llarg de la Competició, la presentació de documentació sobre el sistema elèctric de propulsió. L'Organització establirà una sèrie de lliuraments de documentació obligatòries, indicades en el Calendari Oficial de la Competició reflectit en l'Art. A.6.1, i en les quals es sol·licitarà informació referent al sistema de propulsió elèctric.

D.13.1.1 Les fites específics per a equips de la Categoria MotoStudent Electric seran:

- MSE Special Milestone 1: Electric scheme (Del 2019.11.01 al 2019.11.30): Esquema elèctric complet (sistema HVS, LVS, BMS, esquema elèctric de cel·les), incloent tots els components actius i passius.
- MSE Special Milestone 2: Battery pack specs (Del 2020.02.01 al 2020.02.29): Descripció general de l'acumulador de bateries, incloent el disseny 3D contenidor, cel·les, proteccions mecàniques, llista de components elèctrics (identificació de tots els elements de l'esquema elèctric: denominacions comercials, mesures i ubicació en el prototip). Esquema de connexió utilitzat en l'acumulador (cel·les en sèrie i en paral·lel), nombre total de cel·les i els voltatges nominal i màxim de l'acumulador complet. Fitxa de característiques de les cel·les o supercondensadors utilitzats.
- MSE Special Milestone 3: Battery pack assembly (Del 2020.05.01 al 2020.05.31): Presentació de la construcció de l'acumulador de bateries amb esquemes i fotos del seu muntatge i cablejat. Fotos del conjunt definitiu muntat.
- MSE Special Milestone 4: Electric Powertrain test (Del 2020.07.01 al 2020.08.31): Presentació de vídeo del tren motriu elèctric en funcionament, amb els components finals que aniran instal·lats en el prototip (tot i que encara es trobi en fase de proves).

D.13.1.2 El no presentar la documentació sol·licitada per l'Organització (o lliurar-la passats els 10 dies naturals posteriors a la data límit de lliurament) pot suposar la inconformitat de les Static Scrutineering i, per tant, l'exclusió de l'equip de les Fases MS1 i MS2.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

D.13.1.3 Per raons de seguretat, el cos tècnic de l'Organització podrà requerir informació tècnica addicional a la descrita en el present article si així ho considerés per a la inspecció d'un o diversos prototips concrets.

6.2. CONDICIONS TÈCNIQUES

En aquest segon apartat del capítol s' exposa la part del reglament referent a les verificacions tècniques específiques, es necessari superar aquestes verificacions per a poder competir. També es veurà les característiques tècniques principals del material d'us obligatori que proporciona la organització MotoStudent a cada equip participant, aquest kit consta de:

- Motor elèctric
- Isolation monitoring device (IMD)
- Llantes i pneumàtics
- Joc de frens (bomba de fre, pinça y maneta o pedal)
- Filtre aire per la bateria.

De cara al disseny de la bateria només caldrà tenir en compte les característiques del motor elèctric i del controlador. Tot i que el controlador no formar part del kit d' us obligatori, es el que disposa l' equip actualment i es el aconsellat per la organització.

6.2.1. MOTOR ELÈCTRIC

El motor elèctric forma part del kit d' us obligatori proporcionat per la organització MotoStudent, es tracta de un motor Brushless de la marca Engiro. Amb el motor també facilita un a sèrie de documentació tècnica tal com un full de característiques.

Nominal Operation (S1, cooling as specified below)			
Torque	T_{nom}	22	Nm
Power	P_{nom}	13	kW
Speed	n_{nom}	5720	rpm
Phase	I_{nom}	156	A
Battery voltage (DC)	U_{nom}	96	V
Electric frequency	$f_{el,nom}$	381	Hz
Power factor	$\cos(\varphi)$	0.75	
Maximal Values (S2, 10s, cooling as specified below)			
Torque	T_{max}	95	Nm
Power	P_{max}	42	kW
Phase rms-current	I_{max}	781	A
Battery voltage (DC)	U_{max}	200	V
Speed	n_{max}	8000	rpm
Electric frequency	$F_{el,max}$	533	Hz
Electrical Data			
Number of phases		3	
Number of pole pairs		4	
Maximal efficiency		>96	%
T/I constant ($I < I_{nom}$)		0.14	Nm/Arms

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

<i>U/n</i> constant (AC)	rms: 9.1	Peak: 12.9	V/(1000rpm)
<i>Ke</i> constant (AC)	rms: 0.022	Peak: 0.031	V/(rpm)
Additional Data			
Weight (w/o cables)	20	kg	
Rotor moment of inertia	0.009	kg*m ²	
Protection category	IP65		
Maximal motor temperature	120	°C	
Allowed ambient temperature	-20 to 45	°C	
Cooling (medium, flow rate, inlet temperature, pressure)	air, 18 m/s, ≤ 45°C		
Temperature monitoring	1 x KTY84-130		
Type approval	CE, EN 60034		
Customs tariff number	8501 5230		
Connectors			
Power terminals	3 x 50mm ² cables with M8 cable lugs		
Weight power cables	3.3	kg	
Length power cables	2	m	
Signal connectors	M16, 10 Pin		

Taula 9. Característiques tècniques del motor.

A partir de la taula anterior es pot veure que la tensió mínima proporcionada pel controlador al motor haurà de ser de 96 VDC i la tensió màxima de 200 VDC. Tot seguit, en la mateixa taula, facilita la constant elèctrica de parell del motor i el parell motor nominal i màxim. A partir de la constant elèctrica de parell i el parell motor es pot saber la intensitat de corrent necessari per desenvolupar aquests parells, per tant:

$$I_{Continua} = \frac{M_{Motor Continua}}{K_M} = \frac{22}{0'14} = 157'143 A$$

$$I_{Maxima} = \frac{M_{Motor Maxim}}{K_M} = \frac{95}{0'14} = 678'571 A$$

Per últim es pot observar que el consum d' intensitat continua serà de 156 A i que el consum d' intensitat màxim de pic serà de 781 A, els quals son molt similars als calculats anteriorment. A partir d'aquestes dades i les obtingudes anteriorment a partir dels parells motor i la constant elèctrica de parell, es pot saber el consum d' intensitat de corrent continu equivalent en la bateria, ja que aquests valors son valors de corrent de fase del motor. Per saber el corrent de fase equivalent en la bateria s'ha de conèixer el tipus de controlador del motor i com treballa, el aquest cas el del tipus PWM, i com es pot veure al article "International Journal of Electrical Energy, Vol. 2, No. 3, Setembre 2014" depèn de moltes variables que fan que no es pugui determinar un valor únic, ja que dependrà del regim de treball en el que es trobi el controlador, per tant s' estimarà un valor aproximat de $\sqrt{2}$.

Per tant, per calcular el corrent de la bateria a partir del corrent de fase, es considerarà una relació de corrents d'entrada i sortida del controlador de $\sqrt{2}$. També es tindrà en consideració el rendiment de tot el sistema, controlador + pèrdues caiguda de tensió + motor, que com es pot veure al annex 3 càlcul de l'autonomia s'ha estimat amb un 80%:

$$I_{Continua BAT} = \frac{I_{Continua MOTOR}}{\eta_{SISTEMA} \cdot \sqrt{2}} = \frac{157'143}{0'8 \cdot \sqrt{2}} = 138'896 A$$

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

$$I_{Maxima\ BAT} = \frac{I_{Maxima\ MOTOR}}{\eta_{SISTEMA} \cdot \sqrt{2}} = \frac{781}{0'8 \cdot \sqrt{2}} = 690'313\ A$$

Per tant es considerarà els 139 A com a valor mitja de consum d' intensitat de forma continua en la bateria, i 690 A com intensitat de pic en la bateria.

6.2.1.1. CONCLUSIONS

Com a conclusions a destacar estarien els valors de tensió i intensitat que la bateria ha de ser capaç de proporcionar al motor elèctric a través del controlador.

- Tensió màxima de treball de 200 VDC.
- Tensió mínima de treball de 96 VDC.
- Intensitat continua de 139 A.
- Intensitat de pic de 690 A.

6.2.2. CONTROLADOR MOTOR

El controlador que es disposa per muntar al prototip es un Sevcon Gen4 Size6, es el controlador proporcionat per la organització MotoStudent en el kit opcional de material. Les seves característiques principals són les següents:

Tensió nominal bateria	72 – 80 VDC
Tensió màxima treball	120 VDC
Tensió mínima treball	39'1 VDC
Intensitat continua de corrent	210 Arms
Intensitat de pic de corrent (2min.)	550 Arms
Intensitat de pic de corrent (10s.)	660 Arms
Rendiment	95%

Taula 10. Característiques tècniques principals del controlador.

Cal tenir en consideració que aquests valors són corrents de fase, per saber el corrent equivalent en la bateria cal fer la conversió corresponent, la qual queda justificada al article "International Journal of Electrical Energy, Vol. 2, No. 3, Setembre 2014". Com es pot veure depèn de moltes variables que fan que no es pugui determinar un valor únic, ja que dependrà del règim de treball en el que es trobi el controlador. Per tant, per calcular el corrent de la bateria a partir del corrent de fase, es considerarà una relació de corrents d'entrada i sortida del controlador de $\sqrt{2}$.

A partir dels valors d' intensitat de corrent admesos pel controlador i el seu rendiment, podem saber els valors d' intensitat de corrent continu corresponents a la bateria.

- El controlador pot suportar una intensitat continua de corrent de 210A, el que correspon a una intensitat continua de corrent continu en bateries de:

$$I_{Continua\ BAT} = \frac{I_{Continua\ CONTROLADOR}}{\eta_{CONTROLADOR} \cdot (1 - P_{CDT}) \cdot \sqrt{2}} = \frac{210}{0'95 \cdot (1 - 0'05) \cdot \sqrt{2}} = 164'53\ A$$

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

- El controlador pot suportar una intensitat de pic de corrent durant 2 minuts de 550A, el que correspon a una intensitat de pic de corrent continu en bateria de:

$$I_{Pic\ BAT} = \frac{I_{Maxima\ CONTROLADOR}}{\eta_{CONTROLADOR} \cdot (1 - P_{CDT}) \cdot \sqrt{2}} = \frac{550}{0'95 \cdot (1 - 0'05) \cdot \sqrt{2}} = 430'92\ A$$

- El controlador pot suportar una intensitat de pic de corrent durant 10 segons de 660A, el que correspon a una intensitat de pic de corrent continu en bateria de:

$$I_{Pic\ BAT} = \frac{I_{Maxima\ CONTROLADOR}}{\eta_{CONTROLADOR} \cdot (1 - P_{CDT}) \cdot \sqrt{2}} = \frac{660}{0'95 \cdot (1 - 0'05) \cdot \sqrt{2}} = 517'11\ A$$

6.2.2.1. CONCLUSIONS

Com a conclusions a destacar estarien els valors de tensió i intensitat que la bateria ha de ser capaç de proporcionar al controlador.

- Tensió màxima de treball de 120 VDC.
- Tensió mínima de treball de 39'1 VDC.
- Intensitat continua de 164'53 A.
- Intensitat de pic durant 2 minuts de 430'92 A.
- Intensitat de pic durant 10 segons de 517'11 A.

6.2.3. VERIFICACIONS TÈCNIQUES APLICABLES A LA BATERIA

6.2.3.1. SECCIÓ E ARTICLE 1: OBJECTIU I METODOLOGIA

E.1.1 Objectiu

L'objectiu de les verificacions prèvies és comprovar que els prototips presentats pels equips participants en la Competició compleixen amb les especificacions de prestacions i seguretat reflectides en el Reglament Tècnic (Seccions B, C i D), així com que el pilot presentat és apte per a la participació en la Fase MS2 de la Competició.

E.1.1.1 Les verificacions prèvies no són puntuables per a la Competició MotoStudent, però poden ser excoients si es detecta un incompliment de la normativa imposada, o si el prototip no és considerat com segur per participar en les proves.

E.1.1.2 Les verificacions prèvies es duren a terme per comissaris tècnics amb llicència federativa en vigor i personal qualificat del Cos Tècnic de l'Organització.

E.1.1.3 En cas de disputa sobre el compliment de la normativa reflectida en el Reglament de la Competició, o sobre la seguretat que ofereixi el prototip en pista, la decisió del cos tècnic de l'Organització serà inapel·lable.

E.1.2 Responsabilitat dels equips

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

És responsabilitat de cada equip assegurar-se que el prototip compleixi amb totes les normes reflectides en el Reglament Tècnic de la Competició.

E.1.2.1 En presentar el prototip a les verificacions prèvies, l'equip accepta haver-se assegurat que el prototip compleix amb la normativa imposada per l'Organització.

6.2.3.2. SECCIÓ E ARTICLE 3: STATIC SCRUTINEERING - VERIFICACIONS TÈCNIQUES GENÈRIQUES

E.3.5 Validació

E.3.5.1 Si el prototip es considera apte després del Static Scrutineering, s'ha de marcar amb l'adhesiu corresponent i podrà accedir a l'etapa Dynamic Safety Check.



Figura 63. Exemple orientatiu d'adhesiu de verificació.

6.2.3.3. SECCIÓ E ARTICLE 5: STATIC SCRUTINEERING - VERIFICACIONS TÈCNIQUES ESPECÍFIQUES DE LA CATEGORIA "MOTOSTUDENT ELECTRIC"

El present article afecta exclusivament als prototips participants en la Categoria "MotoStudent Electric" de la Competició. Les verificacions descrites en el present article s'ha de fer durant el Static Scrutineering.

E.5.1 Prova del dispositiu de vigilància d'aïllament

Es durà a terme un test per comprovar el correcte funcionament del dispositiu de vigilància d'aïllament (IMD) definit en l'Art. D.6.5 d'aquest Reglament.

E.5.1.1 El test consisteix en la col·locació d'una resistència de valor 50 kΩ entre el costat HV i el xassís per comprovar el correcte aïllament elèctric.

E.5.1.2 Perquè un prototip es consideri apte, el circuit de desconexió haurà obrir-se abans de 30 segons després de la connexió de la resistència al prototip.

E.5.2 Prova de mesurament d'aïllament

Es durà a terme un test per comprovar el correcte aïllament entre HVS i el GLV.

E.5.2.1 El test consisteix en el mesurament de l'aïllament entre HVS i el GLVS.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

E.5.2.2 Perquè un prototip es consideri apte per a la participació en la Competició, el mesurament entre els dos sistemes ha de ser superior o igual a 100 kΩ.

E.5.3 Prova del circuit de desconexió

Es durà a terme una prova per comprovar el correcte funcionament del circuit de desconexió.

E.5.3.1 Es comprovarà el correcte funcionament del Interruptor General i del Interruptor d'Emergència. L'apagat de qualsevol d'ells haurà d'obrir els contactors de l'acumulador de bateries.

E.5.3.2 En apagar aquests interruptors la tensió indicada en la pantalla del quadre d'instruments d'indicar valor 0.

E.5.4 Prova de pluja

L'Organització podrà dur a terme una prova de pluja per comprovar el correcte aïllament del sistema elèctric de propulsió en condicions de pluja.

E.5.4.1 El prototip es sotmetrà prèviament a les proves del dispositiu IMD, de mesurament d'aïllament i del circuit de desconexió, i ha de haver-los superat per poder realitzar la prova de pluja.

E.5.4.2 Durant la prova el prototip ha d'estar connectat, amb la roda motriu elevada sense contacte sobre el sòl (sobre cavallet) i en situació "no-llest-per-conduir".

E.5.4.3 Es projectarà aigua simulant l'efecte de pluja fina sobre el prototip en diferents direccions durant un període mínim de 60 segons. En cap cas es projectaran dolls d'alta pressió sobre el prototip.

E.5.4.4 La prova es considerarà superada si el dispositiu IMD no s'ha obert durant el temps de ruixat ni durant els següents 60 segons una vegada finalitzat el ruixat. La durada mínima total de la prova serà per tant de 120 seg.

E.5.4.5 El cos tècnic verificarà a més que no es produeixi acumulació d'aigua en zones de risc per al sistema elèctric.

E.5.4.6 Es recomana dur mitjans per a l'assecat del prototip després de la prova.

Disseny d'una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

7. PRESSUPOSTOS

En aquest capítol es detallarà els pressupostos procedents del desenvolupament, disseny i fabricació del acumulador de energia.

7.1. PRESSUPOST ENGINYERIA

Fase del projecte	Preu hora enginyeria (€/h)	Hores treballades	Preu
Investigació	60 €/h	130 h	7.800,00 €
Desenvolupament	60 €/h	100 h	6.000,00 €
Disseny	60 €/h	70 h	4.200,00 €
Total :		300 h	18.000,00 €

Taula 11. Resum pressupost enginyeria.

Al tractar-se d'un projecte de final de grau, on les hores treballades es compensen en forma de crèdits per al autor del projecte, el import total d'aquest pressupost serà reduït a 0 euros.

7.2. PRESSUPOST COMPRA MATERIAL

El pressupost de material es dividirà en dos blocs, un primer pressupost de la bateria, i un segon de tots els components que formen part del sistema de gestió de la bateria.

Com la bateria esta formada per 30 mòduls iguals connectats en sèrie, amb el pressupostant d'un d'ells ja es pot fer el càlcul del cost total dels 30 mòduls, o el que es el mateix de la bateria completa.

Producte	Part	Preu
MODUL 1s25p	Sony / Murata US18650VTC6 3Ah - 30A (25 unt)	97,11 €
MODUL 1s25p	Aïllant tèrmic vermell (30 unt)	2,20 €
MODUL 1s25p	Aïllant tèrmic verd (30 unt)	2,20 €
MODUL 1s25p	Termoretràctil transparent 1kV x 1 metre	2,50 €
MODUL 1s25p	Holder 2p (30 unt)	11,59 €
MODUL 1s25p	Barra coure 6mm diàmetre x 1metre	11,50 €
MODUL 1s25p	Terminals anella 150 A (2 unt)	1,86 €
MODUL 1s25p	Reductor rosca amb rosca femella (2 unt)	2,56 €
MODUL 1s25p	Fuse-wire 32 A (50gr)	9,14 €
MODUL 1s25p	Terminals coure (14 unt)	9,45 €
MODUL 1s25p	Consumibles variats	10,00 €
Total mòdul :		160,11 €

Taula 12. Resum pressupost mòdul sèrie fabricat.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

Com l'equip E3 Team, amb el qual s'hi ha estat treballant com a membre del equip els últims anys, ja disposa del material corresponent a les cel·les, el import corresponent serà deduït d' aquest pressupost en el resum de pressupostos.

Per altre banda tot el que forma part del sistema de gestió de la bateria, BMS, es comú i no depèn del numero de mòduls en sèrie.

Producte	Part	Preu
BMS	Orion 2 Battery Management System- Standard 36	890,00 €
BMS	Cell Tap Wiring Harness, 36 cell, 6ft wire, Gold Plated	37,75 €
BMS	Main Connector Wiring Harness 6 ft (CAN1 wires - 12ft, CAN2 wires - 4ft.)	24,50 €
BMS	Current Sensor Harness for Orion 2	37,50 €
BMS	800A Dual Range Current Sensor - DHAB S-155	45,00 €
BMS	CANdapter CAN to USB converter	55,00 €
BMS	Orion BMS basic analog display Module [includes 6ft pre-wired harness]	75,00 €
BMS	ALBRIGHT SU280B Line Contactor (2 unt)	198,80 €
BMS	Fusible HV SIBA 90-058-05 500A (3 unt)	4,50 €
BMS	IMD Bender IR155-3203	420,00 €
BMS	Circuit imprès IMD i components	70,00 €
BMS	Ampseal 23 pin set panel – TE Connectivity	25,65 €
BMS	Ventiladors tipus CPU 100*100 2.000rpm (6 unt)	13,35 €
Total :		1.897,05 €

Taula 13. Resum pressupost BMS.

Com l'equip E3 Team, amb el qual s'hi ha estat treballant com a membre del equip els últims anys, ja disposa del material corresponent al BMS, aquest pressupost no es tindrà en compte en el resum de pressupostos.

7.3. PRESSUPOST DE FABRICACIÓ

A continuació es detalla el pressupost de fabricació del mòdul de 25 cel·les en paral·lel, com la bateria estarà formada per 30 mòduls iguals ja es pot deduir quin seria el pressupost total.

Procés	Preu hora especialista (€/h)	Hores treballades	Preu
Fabricació barra de connexions i muntatge	45	4	180,00 €
Soldadura	45	8	360,00 €
Total mòdul :		12	540,00 €

Taula 14. Resum pressupost fabricació.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

Al tractar-se d'una bateria per projecte universitari, on el estudiants desenvolupen les parts dels seus prototips, aquest pressupost quedarà compensat per les seves tasques com a membres del equip i queda reduït a 0 euros.

7.4. RESUM DE PRESSUPOSTOS

Pressupost	Unitats	Preu unitat	Preu	Preu compensat
Enginyeria	300 hores	60 €/h	18.000,00 €	0 €
BMS	1	1.897,05 €	1.897,05 €	0 €
Mòduls de 1s25p	30	160,11-97,11 €	4803,30 €	1.890,00 €
Fabricació bateria	30	540 €	16.200,00 €	0 €
Total :			40.900,35 €	1.890,00 €

Taula 15. Resum de pressupostos amb compensació en el preu.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

8. CONCLUSIONS

Finalment, per donar per acabat aquest projecte es compararan les característiques bàsiques principals de la bateria desenvolupada per al equip E3 Team i la dels seus competidors principals del campionat MotoStudent.

	Competència	E3 Team
Química bateria	Liti	Liti-NiMnCo
Capacitat bateria	62'18 Ah	62'2 Ah
Un bateria	99'66 VDC	119'997
Energia bateria	6'17 kWh	7'46 kWh

Taula 16. Taula de conclusions.

Com es pot veure s'ha desenvolupat una bateria d'alta tensió i capacitat de descarrega amb prestacions superiors a la mitja dels nostres competidors, i amb un preu final de 6.700,00 euros . Pel que es pot concloure que s'han complert els objectius proposats al inici del projecte.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.

Coderch Velasco, Pol

AGRAÏMENTS

Per acabar agrair a la universitat de la UPC de Vilanova i la Geltrú, EPSEVG, la gran oportunitat i llibertat que presta als seus estudiants a participar en aquesta gran experiència estudiantil com es el MotoStudent. De la mateixa manera a tots els professors i alumnes que amb la seva col·laboració, suport i esforç ho fan possible, en especial al meu tutor Pere Andrada qui m'ha ajudat i aconsellat durant tots els moments del present projecte.

BIBLIOGRAFIA

Per realitzar el projecte s'ha consultat les següents fonts d'informació:

- Sustainable Materials and Technologies, "Recovery of active cathode materials from lithium-ion batteries using froth flotation", Volum 17, Setembre 2018.
- TECHNOPARK, "Curso diseño de vehículo eléctrico", Circuit de MotorLand Alcañiz, 22 de desembre de 2015
- <https://lygte-info.dk/info/batteryIndex.html>
- <https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Common18650comparator.php>
- Davide Andrea, "Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs" 2010.
- International Journal of Electrical Energy, "Impact of Line Current Harmonics on the DC Bus Quality of a Three-Phase PWM Inverter", Volum 2, Numero 3, Setembre 2014.

Disseny d' una bateria de 96VDC per una motocicleta de competició de propulsió elèctrica del campionat MotoStudent.
Coderch Velasco, Pol

ANNEXES

Per realitzar el projecte s'ha treballat amb els següents documents, dels quals l' annex 3, 4 i 13 son d'elaboració pròpia.

Annex 1 - MS1920_Regulations_V2_ESP

Annex 2 – Grand Prix FIM Geometry Data

Annex 3 - Càlcul autonomia

Annex 4 - Comparativa Cel·les

Annex 5 - Cel·la SONY US18650VTC6

Annex 6 - BMS Orion BMS 2

Annex 7 - IMD Bender IR155

Annex 8 - Contactor Albright SU280B

Annex 9 - Fusible HV SIBA 90-058-05 500a

Annex 10 - Carregador Zivan NG7

Annex 11 - Sevcon Gen4 Size 6

Annex 12 - Motor elèctric Engiro

Annex 13 - Esquema conceptual de la bateria